

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Janova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



Visokošolski strokovni študij
gradbeništva, Smer operativno
gradbeništvo

Kandidat:

Tomaz Medved

Rekonstrukcija muzeja Železniki

Diplomska naloga št.: 375

Mentor:

doc. dr. Vlatko Bosiljkov

Somentor:

Meta Kržan

Ljubljana, 2010

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisan Tomaž Medved izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:

REKONSTRUKCIJA MUZEJA ŽELEZNIKI

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske separatoteke FGG.

Ljubljana, 26.april 2010

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	699.841(043.2)
Avtor:	Tomaž Medved
Mentor:	doc. dr. Vlatko Bosiljkov
Naslov:	Rekonstrukcija Muzeja Železniki
Obseg in oprema:	57 str., 6 pregl., 43 sl., 7 en.
Ključne besede:	Muzej Železniki, potresna odpornost, histerezne ovojnice

Izvleček:

V diplomskem delu je prikazana rekonstrukcija Muzeja Železniki v smislu uspešnosti rekonstrukcije glede na današnje zahteve potresne odpornosti. Po kratkem pregledu zgodovine kraja in objekta, je opisano obstoječe stanje objekta s prikazanimi tlorisi in namembnostjo posameznega prostora. Podane so projektne rešitve arhitekture in gradbenih konstrukcij, ter pregled izvedenih sanacijskih del na objektu po posameznih letih.

Izvedena je kontrola nosilnosti objekta na vertikalno obtežbo in analiza potresne odpornosti. Vse obtežbe so določene v skladu s standardoma EC 1 in EC 8. Ker ni bilo odvzetih vzorcev za ugotovitev dejanskih mehanskih lastnosti zidovine, so za analizo uporabljene vrednosti iz literature in in-situ preiskav podobnih objektov. Nelinearna analiza seizmične odpornosti objekta je narejena s programom SREMB.

Rezultati analize so histerezne ovojnice kritične etaže ter koeficient potresne odpornosti konstrukcije. Primerjane so potresne odpornosti stanja objekta pred sanacijo, torej primer neinjektiranih zidov, s potresno odpornostjo stavbe v ojačenem stanju – v primeru injektiranja zidov z apneno oziroma s cementno malto.

BIBLIOGRAPHIC- DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC:	699.841(043.2)
Author:	Tomaž Medved
Supervisor:	doc. dr. Vlatko Bosiljkov
Title:	Reconstruction of Museum Železniki
Notes:	57 p., 6 tab., 43 fig., 7 eq.
Key words:	Museum Železniki, seismic resistance, hysteresis envelopes

Abstract:

This thesis shows the reconstruction of the museum of Železniki based on today's demands of seismic resistance. After a brief description of history of the town and the building, the current condition of the building, building layouts and function for each room are shown. Then the solutions for the architectural and structural reconstruction of the building through the years are shown.

The load bearing capacity of the structure due to vertical loading and the seismic resistance were calculated. All calculations were made considering EC1 and EC8 requirements. Because there were no samples taken from the structure to determine the actual mechanical characteristics of the masonry, characteristics of similar buildings taken from the literature and from in-situ tests were used. Nonlinear analysis of the seismic resistance was made using computer program SREMB.

The results of the analysis are presented in the form of the hysteresis envelopes of the critical floor and the seismic resistance coefficients of the building. The comparison of the seismic resistance of building prior to wall restrengthening actions, and following the grouting with lime or cement mortar respectively were made.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Vlatku Bosiljkovu, somentorici Meti Kržan ter red. prof. dr. Roku Žarniću za vso pomoč pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvala gre tudi družini za vso podporo, ki so mi jo nudili v času študija in izdelavi diplomske naloge.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Obnova starih objektov	1
1.2	O Muzeju Železniki	2
1.3	Opis obstoječega stanja	3
2	PROJEKT PRENOVE MUZEJA ŽELEZNIKI	13
2.1	Podatki o projektantu	13
2.2	Arhitekturne rešitve	13
2.3	Projekt gradbenih konstrukcij	14
2.4	Sanacijsko – konstrukcijska dela	14
3	IZVEDBA DEL	17
4	KONTROLA NOSILNOSTI NA VERTIKALNO OBTEŽBO IN POTRESNA ODPORNOST	23
4.1	Stalna obtežba g	23
4.2	Koristna obtežba q	26
4.3	Potresna obtežba	27
4.4	Mehanske lastnosti zidovine	29
4.5	Geometrija	29
4.6	Postopek računa	30
4.7	Potresna odpornost	31
4.7.1	Nelinearna analiza s programom SREMB	31
4.7.2	Predpostavka računa	31
4.7.3	Določanje etažne histerezne ovojnice	32
4.7.4	Ocena potresne varnosti	33
5	REZULTATI	35
5.1	Kontrola nosilnosti vertikalne obtežbe	35
5.2	Potresna odpornost	35
5.2.1	Rezultati potresne analize dobljene s programom SREMB	35
5.2.2	Stanje pri maksimalni nosilnosti	37
5.2.3	Stanje pri mejni nosilnosti oziroma porušitev	39
5.2.4	Stanje na koncu računa	40

5.2.5 Histerezne ovojnice	43
5.2.5.1 Neinjektiran zid	43
5.2.5.2 Injektiran zid s cementno ali apneno malto – upoštevane mehanske vrednosti iz literature	46
5.2.5.3 Injektiran zid z apneno malto – z upoštevanjem mehanskih vrednosti iz in-situ preiskav	48
5.2.5.4 Injektiran zid s cementno malto – z upoštevanjem mehanskih vrednosti iz in-situ preiskav	49
6 ANALIZA REZULTATOV	51
7 ZAKLJUČEK	53
VIRI	55
PRILOGE	57

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Prostori v pritličju ter površina posameznega prostora	7
Preglednica 2: Prostori v I. nadstropju ter površina posameznega prostora	8
Preglednica 3: Prostori v II. nadstropju ter površina posameznega prostora	9
Preglednica 4: Prostori v podstrešju ter površina posameznega prostora	10
Preglednica 5: Materialne lastnosti zidov glede na literaturo in in-situ preiskave	29
Preglednica 6: Primerjava vrednosti koeficienta potresne odpornosti	51

KAZALO SLIK

Slika 1: Zračni posnetek lokacije Muzeja Železniki	4
Slika 2: Cestna fasada iz leta 1972, desno Boncljeva hiša	5
Slika 3: Cestna fasada s pogledom na stransko fasado	5
Slika 4: Fasada znotraj dvorišča pred pričetkom obnove	6
Slika 5: Dvoriščna fasada s pogledom na »gank«	6
Slika 6: Tloris pritličja z označenimi prostori	7
Slika 7: Lesen strop v večnamenskem prostoru pred obnovitvijo	8
Slika 8: Tloris prvega nadstropja z označenimi prostori	9
Slika 9: Tloris drugega nadstropja z označenimi prostori	10
Slika 10: Tloris podstrešja z označenimi prostori	11
Slika 11: Projektna rešitev sanacije oboka	15
Slika 12: Predvideno injektiranje v PGD projektu – pritličje	16
Slika 13: Odstranjeno težko nasutje nad obstoječimi oboki	18
Slika 14: Izvedeno injektiranje zidu	19
Slika 15: Injektiranje notranjih sten po vodni ujmi leta 2007	20
Slika 16: Cestna fasada po končani obnovi fasade	21
Slika 17: Dvoriščna fasada po končani obnovi fasade	21
Slika 18: Dvoriščna fasada po končani fasadi in izdelanih novih »gankih«	22
Slika 19: Tloris II. nadstropja z vrisanimi osmi	24
Slika 20: Seizmološka karta Slovenije – projektni pospešek tal	28
Slika 21: Pri računu upoštevani nosilni elementi pritlične etaže	30
Slika 22. Vertikalne obremenitve nosilnih elementov	35
Slika 23: Stanje na meji elastičnosti d/d_e , smer x	36
Slika 24: Stanje na meji elastičnosti d/d_e , smer y	37
Slika 25: Stanje pri maksimalni nosilnosti: horizontalna sila H, smer x	38
Slika 26: Stanje pri maksimalni nosilnosti: horizontalna sila H, smer y	38
Slika 27: Stanje pri mejni nosilnosti: razmerje pomikov d/d_u , smer x	39
Slika 28: Stanje pri mejni nosilnosti: razmerje pomikov d/d_u , smer y	40
Slika 29: Stanje pri koncu računa – razmerje pomikov d/d_u , smer x	41

Slika 30: Stanje pri koncu računa – razmerje pomikov d/d_u , smer y	41
Slika 31: Način porušitve, smer x	42
Slika 32: Način porušitve, smer y	42
Slika 33: Histerezna ovojnica etaže v smer x – neinjektiran zid, mehanske vrednosti iz literature	44
Slika 34: Histerezna ovojnica etaže v smer y – neinjektiran zid, mehanske vrednosti iz literature	44
Slika 35: Tloris pritličja s predvidenim projektnim injektiranjem sten	43
Slika 36: Histerezna ovojnica etaže v smeri x – neinjektiran zid, mehanske vrednosti iz in-situ preiskav	45
Slika 37: Histerezna ovojnica etaže v smeri y – neinjektiran zid mehanske vrednosti iz in-situ preiskav	46
Slika 38: Histerezna ovojnica etaže v smer x – injektiran zid s cementno malto ali z apneno malto, mehanske vrednosti iz literature	47
Slika 39: Histerezna ovojnica etaže v smer y – injektiran zid s cementno malto ali z apneno malto, mehanske vrednosti iz literature	47
Slika 40: Histerezna ovojnica etaže v smeri x – injektiran zid z apneno malto, mehanske vrednosti iz in-situ preiskav	48
Slika 41: Histerezna ovojnica etaže v smeri y – injektiran zid z apneno malto, mehanske vrednosti iz in-situ preiskav	49
Slika 42: Histerezna ovojnica etaže v smeri x – injektiran zid s cementno malto, mehanske vrednosti iz in-situ preiskav	50
Slika 43: Histerezna ovojnica etaže v smeri y – injektiran zid s cementno malto, mehanske vrednosti iz in-situ preiskav	50

1 UVOD

1.1 Obnova starih objektov

Obnova oziroma rekonstrukcija starih oziroma starejših objektov je v današnjem času velik problem. Predvsem je velik problem rekonstrukcija objektov, ki so zavarovani z Zakonom o varstvu kulturne dediščine. Rekonstrukcija oziroma prenova objekta, ki je zavarovan s tem zakonom, predstavlja velik finančni zalogaj tako za lokalno skupnost kakor tudi za fizično osebo. Vendar se v zadnjem času daje tudi v Sloveniji poudarek na ohranjanje slovenske kulturne dediščine. Premalo se zavedamo, da lahko take objekte tržimo za turizem in tudi za razvoj gospodarstva.

Pri obnovi oziroma rekonstrukciji objekta nas kot gradbenike predvsem zanima nosilnost objekta. Pri objektih, ki so zaščiteni z Zakonom o varstvu kulturne dediščine, smo omejeni z ukrepi, ki bi jih želeli izvesti, ker nam pogoje postavljajo restavratorji. Po drugi strani pa smo omejeni zaradi prevelikih neznank o objektu. Predvsem pa je naša naloga, da je rekonstruiran objekt v skladu s takrat veljavnimi predpisi in zagotavlja varnost ljudem, ki objekt uporabljajo.

Velikokrat nimamo vseh potrebnih podatkov o originalni izvedbi objekta, o točnih detajlih v prvotnem projektu, nimamo podatkov o spremembah, ki so se zgodile v času pred rekonstrukcijo oziroma prenovo, in seveda o sami zgodovini objekta. Stari objekti so grajeni predvsem na podlagi izkušenj in opazovanja ter same intuicije. Pri sanacijah oziroma rekonstrukcijah starih in novih objektov, kjer ne obstaja veliko podatkov o objektu, so zelo pomembne predhodne preiskave, vendar se v praksi velikokrat zatakne že v tem delu, ker investitorji ne razumejo, da je to nujno potrebno in da so preiskave potrebne. Preiskave nam dajo odgovore glede kvalitete gradnje objekta, mehanskih karakteristik posameznih materialov ter same izvedbe objekta in njegovega temeljenja.

V diplomski nalogi bom poskušal prikazati rekonstrukcijo Muzeja Železniki predvsem v smislu, kako določene posamezne konstrukcijske rešitve vplivajo na potresno odpornost celotnega objekta. Prikazana je tudi primerjava med rešitvami, ki jih je predvidel projektant projekta Prenove Muzeja Železniki, in dejansko izvedbo.

1.2 O Muzeju Železniki

Pri zasnovi diplomske naloge sem si izbral sanacijo objekta Muzej Železniki, kajti objekt predstavlja eno najstarejših hiš v Občini Železniki.

Občina Železniki leži v zgornjem delu Selške doline. Leta 973 se ti kraji omenjajo v posebni listini, s katero so podelili zemljo v Selški dolini v last freisinskim škofom. V teh krajih so živeli in ustvarjali znani in pomembni ljudje, kot so Ivan Grohar, Jakob Šolar in prof. Franc Koblar. Središče občine je mesto Železniki, ki se je leta 1340 začel razvijati kot železarsko središče celotne Selške doline, saj so okoliški hribi bogati z železovo rudo. Razvoj mesta kot železarskega mesta je cvetel vse do leta 1902, ko je železarstvo, predvsem zaradi nekonkurenčnosti, propadlo. Največja značilnost Železnikov ostaja lepo ohranjen plavž za taljenje železove rude, ki je edinstveni tehniški spomenik v Evropi. Sprehajalci radi poleg muzeja obiščejo tudi Dražgoše oziroma se povzpnejo na Ratitovec ali si ogledajo znamenite čipke in dražgoške kruhke. Torej je celotna dolina odvisna od različnih dejavnosti.

Muzej Železniki, tako imenovana Plavčeva hiša, je locirana na parceli številki 14/4 in 148/5 k. o. Železniki. Po podatkih iz razglasitve objekta za nacionalni spomenik stoji: "Loški muzej Železniki – Plavčeva hiša". Ime po podatkovni bazi ZVKDS: Na plavžu 58. Objekt je dvonadstropna stavba, poleg Plnade, Barglijeve in Boncljeve hiše najpomembnejši fužinarski objekt v Železnikih, tako po pričevalnih, stavbno razvojnih, kot po arhitektonskih elementih. Objekt ima na sprednji fasadi arkadni pomol, znotraj objekta je množica obokanih prostorov in portalov iz 17. Stoletja, ter v drugem nadstropju štuko strop iz 18. stoletja V delu dvorišča so na fasadah vidne zazidane arkade. Objekt stoji v gornjem delu naselja Železniki, nasproti plavža za taljenje železove rude. Konkretnih podatkov o času gradnje objekta ni in tako lahko o njem le ugibamo na osnovi vklesanih letnic na pročelju, ki pričajo o zaključku del na objektu, in to leta 1637. Težko razumljivo je, da bi bila hiša zgrajena šele v prvi polovici 17. stoletja, glede na to, da je družina Plavcev izpričana v Železnikih že v 16. stoletju. Morebiti

nam da odgovor na to anomalijo velik požar iz leta 1620, ki ga navaja v svojih zapiskih Anton Globočnik.

Plavčeva hiša je, poleg najstarejše hiše v Železnikih – Plnade drugi najpomembnejši fužinarski objekt v Železnikih. Pred vojno jo je kupil advokat dr. Jože Jakše in jo prepisal na svojo mater iz Brestanice. Gospa Minka Jakše je hišo podarila muzeju.

V Muzeju Železniki si je možno ogledati sledeče stalne razstave:

V pritličju je na ogled postavljen železarski oddelek. Prikazana je skoraj 600–letna zgodovina železarstva od kopanja železove rude, njenega transporta in taljenja v plavžu, predelave surovega železa v fužini v polizdelke in izdelava končnih izdelkov v kovačnici ali vigenjcu.

Predelovalna obrata fužin in vigenjc sta prikazana z delujočo maketo.

V prvem nadstropju je lesarski oddelek, ki prikazuje dejavnosti in obrti, ki so se razvijale kot železarstvu spremljajoče dejavnosti. Prikazano je izdelovanje sodov kot embalaža za železarske izdelke, »kuhanje« oglja in makete žag na vodni pogon.

V drugem nadstropju je prikazana novejša zgodovina kraja, zbirka originalnih čipk, prikaz dogajanj v narodno osvobodilni vojni in delovanja društev v Selški dolini.

Nujnost sanacije oziroma rekonstrukcije objekta se je pokazala zaradi funkcionalnih potreb in posodobitve organizacijske sheme muzejske dejavnosti, neustreznih obstoječih instalacij, kompozicijsko neustrezno predelanega dela cestne fasade in dela notranjosti, dotrajanih tlakov in stavbenega pohištva ter dotrajanosti delov konstrukcijskih elementov. Upravitelj Muzeja Železniki je izpostavil potrebo po novih prostorih, ki se jih lahko pridobi na podstrešju objekta. Veliko vlogo pri sanaciji objekta ima Zavod za varstvo kulturno dediščino Slovenije, OE Ljubljana.

1.3 Opis obstoječega stanja

Plavčeva hiša je zrcalno simetrična s sosednjo Boncljevo hišo. Objekt ima obliko črke L, s krajšo stranico ob cesti. Daljša stranica se po celotni svoji dolžini in višini stika s sosednjim objektom. Krajša stranica objekta je vzporedna s cesto (Slika 1).



Slika 1: Zračni posnetek lokacije Muzeja Železniki

Na cestni fasadi sta dva vhoda. Stranski vhod vodi na stopnišče, ki zaradi ločenosti od pritličja in organizacije dejavnosti muzeja v prvem nadstropju ni uporabno. Glavni vhod in okna v pritličju so novejšega datuma in so obdana s kamnitimi okvirji. Na slikah 2,3,4,5 so prikazane fasade pred pričetkom sanacije oziroma rekonstrukcije .



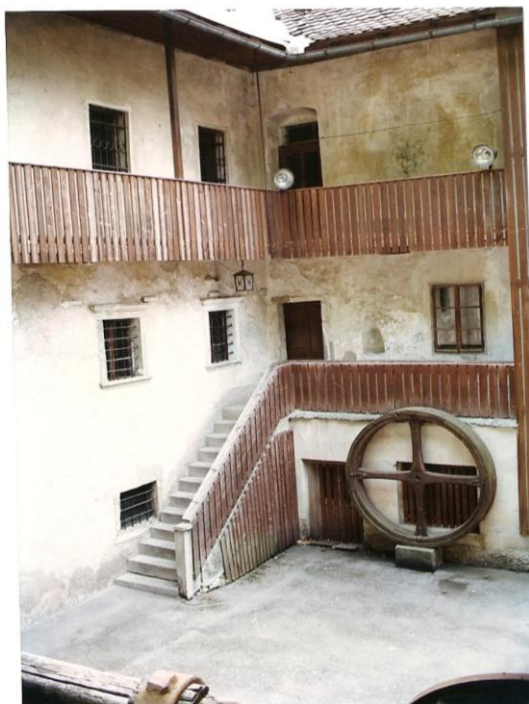
Slika 2: Cestna fasada iz leta 1972, desno Boncljeva hiša



Slika 3: Cestna fasada s pogledom na stransko fasado



Slika 4: Fasada znotraj dvorišča pred pričetkom obnove

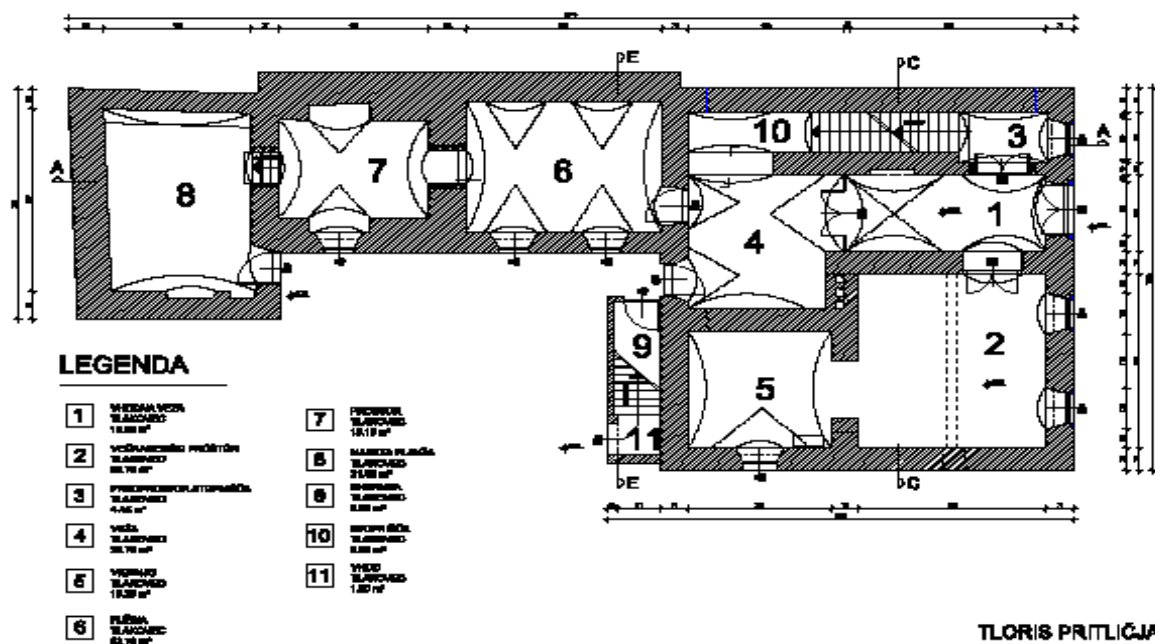


Slika 5: Dvoriščna fasada s pogledom na »gank«

Pritličje ima značilen in velikokrat uporabljen tloris veže in stranskega stopnišča (Slika 6). V pritličju se nahajajo naslednji prostori:

Preglednica 1: Prostori v pritličju ter površina posameznega prostora

Številka prostora	Prostor	Površina
1	vhodna veža	15,50 m ²
2	večnamenski prostor	28,75 m ²
3	predprostor stopnišča	4,45 m ²
4	veža	22,70 m ²
5	»vigenjc«	15,30 m ²
6	fužinarska soba	23,70 m ²
7	prostor	15,10 m ²
8	soba z maketo plavža	21,85 m ²
9	shramba pod zunanjim stopniščem	3,05 m ²
10	stopnišče	5,90 m ²
11	vhod	1,80 m ²



Slika 6: Tloris pritličja z označenimi prostori

V večnamenskem prostoru pritličja je lepo ohranjen lesen strop, ki je bil obnovljen (Slika 7).

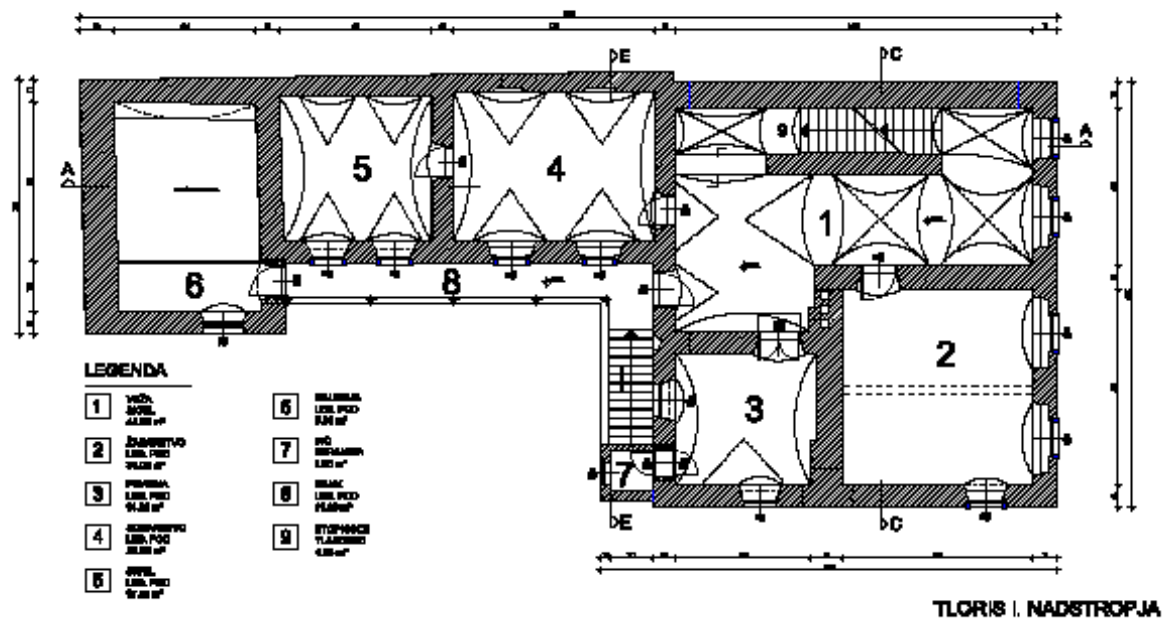


Slika 7: Lesen strop v večnamenskem prostoru pred obnovitvijo

V I. nadstropju (Slika 8) so urejeni prostori:

Preglednica 2: Prostori v I. nadstropju ter površina posameznega prostora

Številka prostora	Prostor	Površina
1	veža	44,25 m ²
2	žagarska soba	31,05 m ²
3	pisarna	14,95 m ²
4	soba z muzejsko zbirko sodarstva	24,60 m ²
5	soba s skrilom	17,55 m ²
6	galerija	5,80 m ²
7	WC za zaposlene	1,25 m ²
8	leseni "gank"	11,80 m ²
9	zunanje stopnišče	4,35 m ²

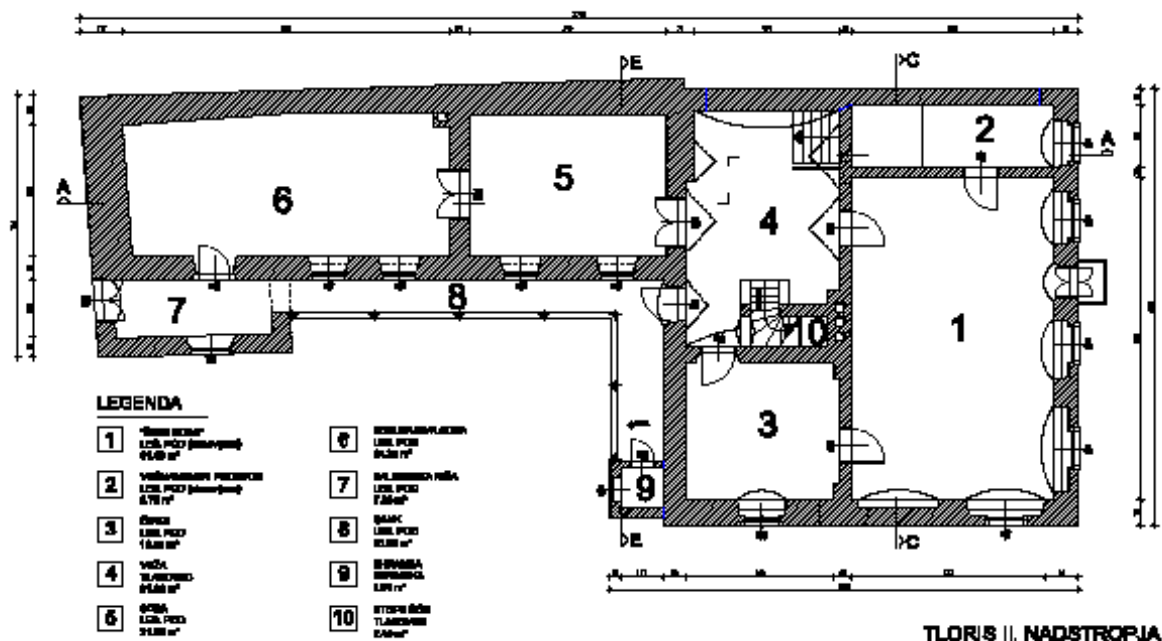


Slika 8: Tloris I. nadstropja z označenimi prostori

V II. nadstropju (Slika 9) se nahajajo prostori:

Preglednica 3: Prostori v II. nadstropju ter površina posameznega prostora

Številka prostora	Prostor	Površina
1	"štuk" soba	51,60 m ²
2	večnamenski prostor	9,75 m ²
3	soba s čipkami	16,55 m ²
4	veža	21,00 m ²
5	soba	21,65 m ²
6	spominska Koblarjeva soba	34,35 m ²
7	balkonska niša	7,65 m ²
8	lesen "gank"	15,90 m ²
9	shramba	1,31 m ²
10	stopnišče	2,45 m ²

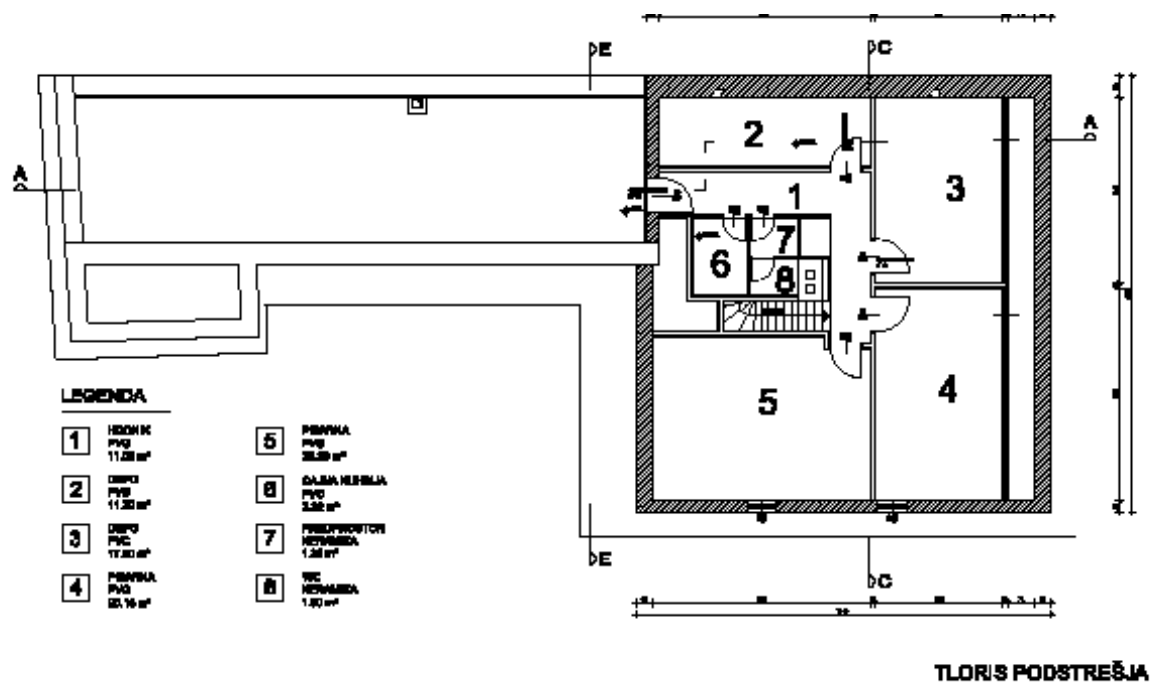


Slika 9: Tloris II. nadstropja z označenimi prostori

V podstrežju (Slika 10) so urejeni naslednji prostori:

Preglednica 4: Prostori v podstrežju ter površina posameznega prostora

Številka prostora	Prostor	Površina
1	hodnik	11,05 m ²
2	depo 1	11,20 m ²
3	depo 2	17,90 m ²
4	pisarna 1	20,15 m ²
5	pisarna 2	26,20 m ²
6	čajna kuhinja	3,22 m ²
7	predprostor	1,36 m ²
8	WC za zaposlene	1,30 m ²



Slika 10: Tloris II. nadstropja z označenimi prostori

2 PROJEKT PRENOVE MUZEJA ŽELEZNIKI

Priprava na obnovo Muzeja Železniki se je pričela že leta 1994. Tega leta je bil izdelan idejni projekt številka 3906/1, z datumom julij 1994, vodja projekta je bila Alenka Golob, dipl. inž. arh. Na podlagi pregleda idejnega projekta za obnovo Plavčeve hiše je Ljubljanski regionalni zavod za varstvo naravne in kulturne dediščine izdal pripombe na idejni projekt. Vendar dalj kot do pripomb s strani Ljubljanskega regionalnega zavoda za varstvo naravne in kulturne dediščine ni prišlo. Nadaljnje aktivnosti, povezane s prenovno muzeja v Železnikih, so se prestavile v leto 2003.

2.1 Podatki o projektantu

Investitor, Občina Železniki je leta 2003 pri projektivnem podjetju ELEA iC d. o. o., podjetje za projektiranje in inženiring, Dunajska cesta 21, 1000 Ljubljana, naročila projekt Prenove muzeja v Železnikih. Projektivno podjetje je izdelalo projekt številka 3088, z datumom april 2003. Odgovorni vodja projekta je Angelo Žigon, univ. dipl. inž. gr., ki istočasno nastopa kot odgovorni projektant gradbenih konstrukcij, kot odgovorni projektant arhitekture pa v tem projektu nastopa Nebojša Jankovič, univ. dipl. inž. arh.

2.2 Arhitekturne rešitve

V pritličju se ponovno vzpostavi avtentična komunikacija z vhodnim portalom v osi veže. Zamenjajo se vsa okna in notranja vrata, izdelajo se preboji za nove prehode ter zamenjajo vsi tlaki. V prvem nadstropju se zamenjajo vsa okna in vsa notranja vrata ter položijo novi tlaki. Zaradi dotrajanosti konstrukcijskih elementov se na novo izvede lesen »gank«. V drugem nadstropju se ravno tako zamenjajo vsa okna in položijo novi tlaki. Odstranijo se obstoječe stopnice na podstrešje in izvedejo nove v obliki črke L med obstoječimi zidovi in novim parapetnim zidom. Konstrukcija novega stopnišča so jekleni profili, nastopne ploskve pa so iz lesa. Zaradi dotrajanosti se obnovita leseni »gank« in obstoječi balkon na cestni fasadi, v skladu s smernicami Zavoda za kulturno dediščino. Okolica muzeja se izvede s tlakovanjem s

pranimi ploščami in delno z izdelavo »mačjih glav«. Opečna kritina se zamenja s skriljem, katerega so včasih pridobivali na območju Železnikov, predvsem v Sorici in Danjah.

2.3 Projekt gradbenih konstrukcij

Ker nas kot gradbenike bolj zanimajo gradbene konstrukcije, se bomo bolj osredotočili na projekt gradbenih konstrukcij. Projektant si je kot poglavitno nalogo zadal predvsem utrditi objekt za primer potresa. Opažanja projektanta so:

- ravni stropovi kažejo znake vibracij, zato je potrebna sanacija vseh stropov;
- finalni tlaki so dotrajani ali pa so zaradi nove namembnosti prostora neustrezni;
- zaradi neustrezne statične zasnove in dotrajane nosilne lesene konstrukcije se oba »ganka« izdelata nova;
- na podstrešju je potrebno podreti dotrajani obstoječi dimnik;
- na podstrešju je potrebno podreti čelne fasadne stene, ki so zidane z opeko v debelini 12 centimetrov in jih pozidati z modularno opeko debeline 20 centimetrov ter povezati s horizontalno armirano betonsko vezjo.

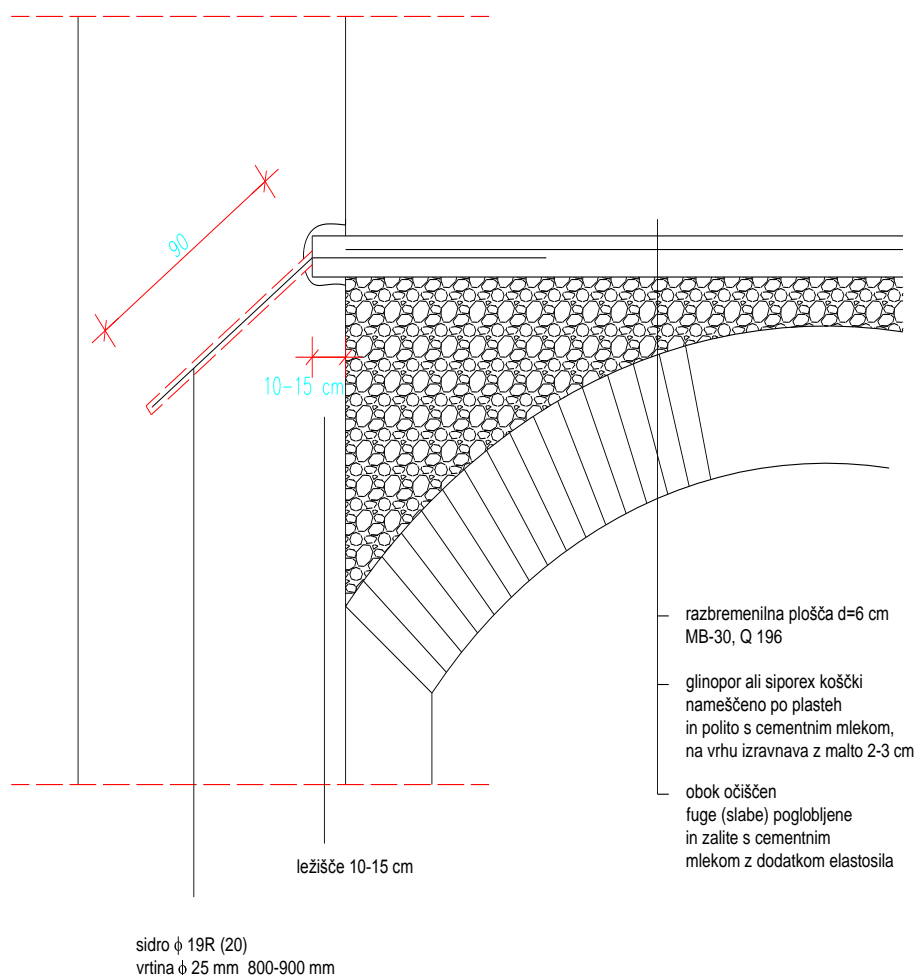
Glede na dejstvo, da objekt nima vidnih razpok zaradi diferenčnih posedkov, je projektant ocenil, da so obstoječi temelji dovolj močni, da prevzamejo vertikalno obremenitev. To je projektant ocenil brez preiskav temeljev oziroma brez odvzetega vzorca obstoječega zidovja, zato sklepam, da je podal oceno na podlagi izkušenj.

2.4 Sanacijsko – konstrukcijska dela

Glavno vodilo pri izdelavi konstrukcijskega dela projekta je predvsem problem zagotavljanja potresne odpornosti objekta. Ostrešje se dodatno ne ojači, saj so dimenzije strešnih nosilnih elementov zadostne, pri prekritju pa je potrebno vse morebitne dotrajane elemente zamenjati. Z uvedbo novih armiranobetonskih plošč nad drugo etažo je dosežena horizontalna povezava objekta na vrhu, kar bistveno izboljša potresno odpornost objekta. Za izvedbo plošče se odstrani finalni tlak in celotno gramozno nasutje. Celotna površina se temeljito očisti in se izdelava izravnava iz lahkega stiro-estriha.

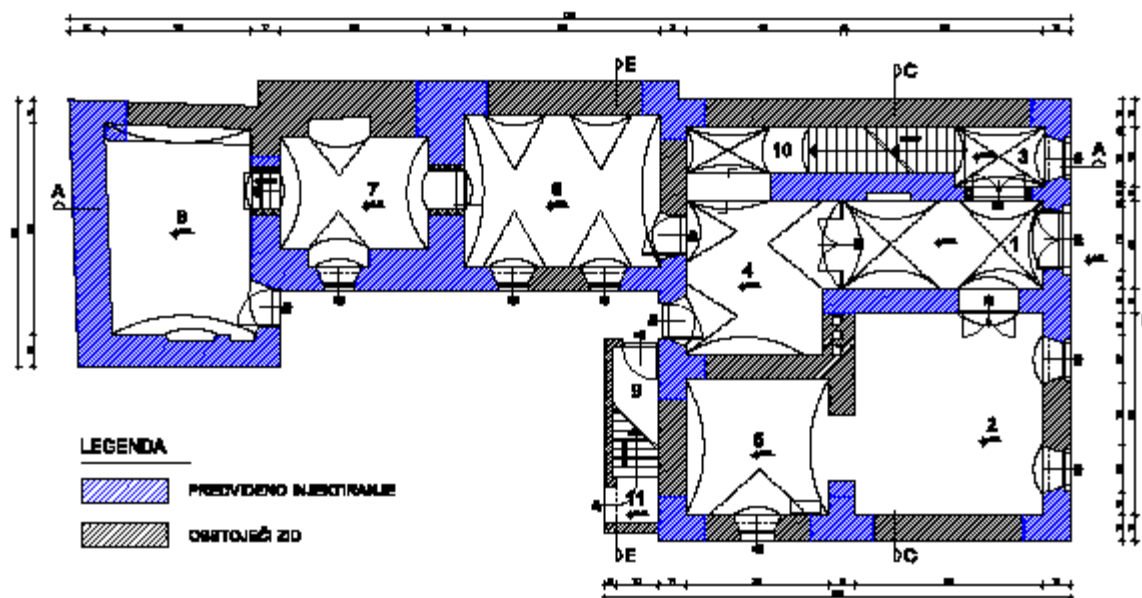
Sanacijo obokov (Slika 11) izvedemo na naslednji način:

- odstranitev finalnega tlaka,
- odstranitev težkega nasutja; poglobijo se fuge (stiki) med opekami, vse skupaj se temeljito očisti in se zalije s tanko plastjo fine redke cementne zmesi z dodatkom za boljšo vezavo med starim in novim materialom, zmesi je potrebno dodati minimalno količino sredstva za nabrekanje;
- pripravljeno površino poravnamo z lahkim stiro-estrihom;
- stiro-estrih izvedemo do take višine, da se lahko izvede tanka armiranobetonska plošča;
- izvedejo se ležišča za ploščo na obodnih in srednjih stenah, nato se izvedejo poševna sidra;
- nato se lahko položi nov finalni tlak.



Slika 11: Projektna rešitev sanacije oboka

Projektant je predvidel le minimalno injektiranje obstoječih zidov (Slika 12), vendar je v tehničnem poročilu navedeno, da bi bilo smotno injektirati celoten objekt.



Slika 12: Predvideno injektiranje v PGD projektu - pritličje

3 IZVEDBA DEL

Investitor Občina Železniki se je leta 2004 odločila, da prične s prenovo muzeja v Železnikih, in sicer v več etapah. Odločitev za izvajanje del v več etapah se je sprejela na podlagi projektantske ocene del, ki je bila ocenjena na 83.102.721,00 takratnih slovenskih tolarjev oziroma današnjih 346.781,51 evrov, brez upoštevanega davka na dodano vrednost. Ker je znesek velik za tako majhno občino, je investitor sklenil razdeliti prenovo muzeja v Železnikih na več faz. Predviden zaključek del prenove Muzeja Železniki je leto 2010.

V letu 2004 so se izvedla naslednja dela:

- prekritje strehe,
- kompletna zamenjava strešne kritine in vseh kleparskih izdelkov,
- zamenjava dotrajane strešne konstrukcije,
- rušenje dotrajanega dimnika v podstrešju,
- rušenje obodnih sten debeline 12 centimetrov ter pozidava novih sten debeline 20 centimetrov iz modularnega bloka v podaljšani apneni malti,
- izdelava horizontalne armirano betonske vezi za povezavo modularnih zidov v podstrešju.

V pritličju se je izvedla:

- odstranitev vseh tlakov, kompletno do nasutja med temelji,
- utrditev obstoječih nasutij med temelji, podložni beton med temelji v debelini 10 centimetrov,
- privaritev horizontalne hidroizolacije,
- zabetoniranje novih armiranih estrihov s toplotno izolacijo debeline 6 centimetrov,
- rušenje predvidenih prebojev in ojačitve okoli njih,
- injektiranje vseh obodnih zidov s cementno silikatno injekcijsko maso.

V prilogi številka 1, 2, 3 in 4 so prikazane pozicije dejansko injektiranih zidov na koncu obnove. V prvem in drugem nadstropju so se v letu 2005 izvedla sledeča dela:

- odstranitev vseh finalnih tlakov,
- odstranitev težkega nasutja nad oboki (Slika 13),

- saniranje obstoječih obokov v skladu s projektom,
- izvedba nove razbremenilne plošče čez celo etažo, vpeto v obodne in vmesne zidove s sidri,
- izvedba injektiranja zidov (Slika 14),
- izvedba dvokrilnih kovanih vrat za vhod v Muzej Železniki.



Slika 13: Odstranjeno težko nasutje nad obstoječimi oboki



Slika 14: Izvedeno injektiranje zidu

V letu 2006 so bila izvedena naslednja opravila:

- razbremenilna plošča v dveh prostorih stranskega dela objekta v drugem nadstropju,
- kompletna sanacija obokov,
- finalni tlaki (leseni pod na pero in utor),
- slikopleskarska dela,
- fina montaža strojnih inštalacij in elektroinstalacij.

Leta 2007 so se začela izvajati dela na fasadi, vendar je izvajalcu uspelo le postaviti fasadni oder, saj je 18. 9. 2007 občino Železniki prizadela vodna ujma. Po ureditvi razmer v občini se je šest tednov po poplavi nadaljevalo s prenovo Muzeja Železniki. Voda v času vodne ujme je segala 180 centimetrov nad tlakom pritličja.

Dela so se nadaljevala, in sicer:

- izvedlo se je injektiranje notranjih sten (slika 15);

- odstranil se zunanji fasadni ometi;
- izvedla so se dela za odstranitev škode, ki jo je povzročila vodna ujma.



Slika 15: Injektiranje notranjih sten po vodni ujmi leta 2007

Leta 2008 je bila podpisana pogodba za izdelavo fasade in ureditev mansarde. Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije, OE Ljubljana, je v tej fazi sodeloval s svojimi strokovnimi službami pri svetovanju in nadzoru nad izvedbo del. Izdelali so predloge in skice sanacije fasade, vidnih kamnitih elementov, izdelali so sondažo prvotnih poslikav fasade ter predpisali strukturo fasadnega ometa ter način izvedbe.

V letu 2009 se je izvedla finalizacija fasade muzeja in je danes že končana (Slike 16, 17 in 18).



Slika 16: Cestna fasada po končani obnovi fasade



Slika 17: Dvoriščna fasada po končani obnovi fasade



Slika 18: Dvoriščna fasada po končani prenovi fasade in izdelavi novih »gankih«

Kot je bilo predvideno, je za leto 2010 ostala izvedba zunanje ureditve ter ureditev podstrešja – finalizacija objekta, vendar je tudi ekonomska kriza v občini povzročila manjšanje proračuna za leto 2010, tako da je predviden zaključek del v letu 2011.

Na podlagi zgoraj navedenih sanacijskih ukrepov sem v diplomski nalogi izračunal obtežbe in podal prikaz različnih variant sanacije objekta z različnimi materiali ter njihov vpliv na potresno odpornost objekta.

4 KONTROLA NOSILNOSTI NA VERTIKALNO OBTEŽBO IN POTRESNA ODPORNOST OBJEKTA

4.1 Stalna obtežba - g

Vse obtežbe so določene v skladu s standardom EC 1 in EC 8.

Pod stalno obtežbo upoštevamo zunanje zidove in notranje nosilne stene – upoštevano v izračunu $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$. Njihove debeline ter tudi višine so prikazane v prilogah – tlorisih in prerezih, ki se nahajajo na koncu diplomske naloge. Obtežba stropov se na elemente vertikalnih nosilnih zidov prenaša po strešnem pravilu.

- Streha

Naklon strehe znaša 40° , torej moramo izračunati faktor h, ki pomeni razdelitev obtežbe na tlorisno površino strehe:

$$h = 1/\cos\alpha = 1/\cos 40^\circ = 1,31$$

- strešna kritina

$$g = 1,80 \text{ kN/m}^2 * 1,31 = 2,36 \text{ kN/m}^2$$

- prečne letve 5/5 cm

$$g = 0,05 \text{ m} * 0,05 \text{ m} * 6 \text{ kN/m}^3 * 1/0,33 \text{ m} = 0,05 \text{ kN/m}^2$$

- vzdolžne letve 5/5 cm

$$g = 0,05 \text{ m} * 0,05 \text{ m} * 6 \text{ kN/m}^3 * 1/0,90 \text{ m} = 0,02 \text{ kN/m}^2$$

- deske debeline 24 mm

$$g = 0,024 \text{ m} * 6 \text{ kN/m}^3 * 1,31 = 0,19 \text{ kN/m}^2$$

- špirovci dim. 16/12 cm

$$g = 0,16 \text{ m} * 0,12 \text{ m} * 6 \text{ kN/m}^3 * 1,31 * 1/0,9 \text{ m} = 0,17 \text{ kN/m}^2$$

- toplotna izolacija debeline 16 cm

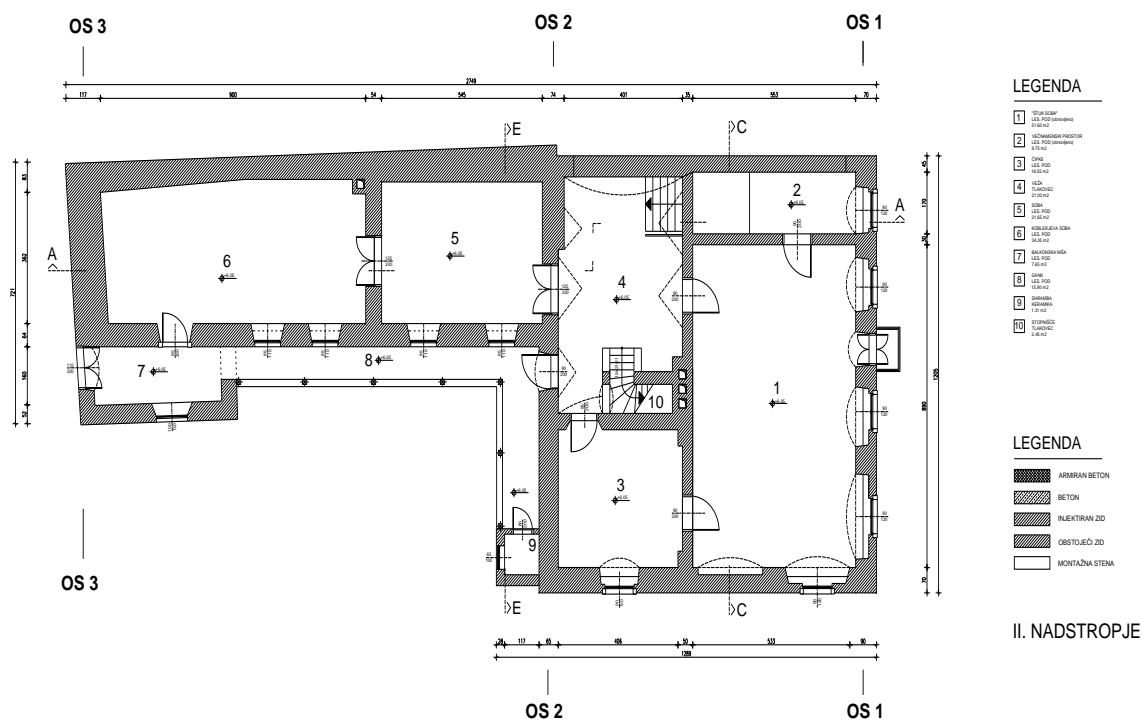
$$g = 0,16 \text{ m} * 0,26 \text{ kN/m}^3 * 1,31 = 0,05 \text{ kN/m}^2$$

- mavčno kartonske plošče debeline 12,5 mm

$$g = 0,0125 \text{ m} * 16 \text{ kN/m}^3 * 1,31 = 0,26 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Skupaj lastna teža strehe znaša} = 3,10 \text{ kN/m}^2$$

- Strop nad II. nadstropjem med osema 1-2



Slika 19: Tloris II. nadstropja z vrisanimi osmi

- linolej debeline 5 mm

$$g = 0,005 \text{ m} * 17 \text{ kN/m}^3 = 0,09 \text{ kN/m}^2$$

- iverna plošče debeline 2 cm

$$g = 0,02 \text{ m} * 10 \text{ kN/m}^3 = 0,20 \text{ kN/m}^2$$

- lesen slepi pod debeline 4 cm

$$g = 0,04 \text{ m} * 6 \text{ kN/m}^3 = 0,24 \text{ kN/m}^2$$

- podkonstrukcija prečno in vzdolžno dim. 70/5 cm

$$g = 0,70 \text{ m} * 0,05 \text{ m} * 6 \text{ kN/m}^3 * 1/0,8 \text{ m} * 2 = 0,53 \text{ kN/m}^2$$

- zračni prostor

- toplotna izolacija debeline 5 cm

$$g = 0,05 \text{ m} * 26 \text{ kN/m}^3 = 0,01 \text{ kN/m}^2$$

- AB plošča debeline 16 cm

$$g = 0,16 \text{ m} * 25 \text{ kN/m}^3 = 4,00 \text{ kN/m}^2$$

Ker smo obstoječe stropnike sidrali z jeklenimi lesnimi vijaki v AB ploščo, dodamo lastni teži tudi obremenitev od stropnikov:

- leseni plohi debeline 3 cm

$$g = 0,03 \text{ m} * 6 \text{ kN/m}^3 = 0,18 \text{ kN/m}^2$$

- obstoječi stropniki dim. 20/20 cm

$$g = 0,20 \text{ m} * 0,20 \text{ m} * 6 \text{ kN/m}^3 * 1/0,8 \text{ m} = 0,30 \text{ kN/m}^2$$

- lesene deske debeline 24 mm

$$g = 0,024 \text{ m} * 6 \text{ kN/m}^3 = 0,14 \text{ kN/m}^2$$

- omet na trstiki v povprečni debelini 2 cm

$$g = 0,02 \text{ m} * 18 \text{ kN/m}^3 = 0,36 \text{ kN/m}^2$$

Skupaj lastna teža stropa nad II. nadstropjem

$$\text{med osema 1-2 znaša} = 6,05 \text{ kN/m}^2$$

- Strop nad II. nadstropjem med osema 2-3

- barva za beton

- armirane betonski estrih debeline 6 cm

$$g = 0,06 \text{ m} * 24 \text{ kN/m}^3 = 1,44 \text{ kN/m}^2$$

- PVC folija

- toplotna izolacija debeline 10 cm

$$g = 0,10 \text{ m} * 0,26 \text{ kN/m}^3 = 0,03 \text{ kN/m}^2$$

- AB plošča debeline 12 cm

$$g = 0,12 \text{ m} * 25 \text{ kN/m}^3 = 3,00 \text{ kN/m}^2$$

- leseni plohi debeline 3 cm

$$g = 0,03 \text{ m} * 6 \text{ kN/m}^3 = 0,18 \text{ kN/m}^2$$

- obstoječi stropniki dim. 20/20 cm

$$g = 0,20 \text{ m} * 0,20 \text{ m} * 6 \text{ kN/m}^3 * 1/0,8 \text{ m} = 0,30 \text{ kN/m}^2$$

- lesene deske debeline 24 mm

$$g = 0,024 \text{ m} * 6 \text{ kN/m}^3 = 0,14 \text{ kN/m}^2$$

- omet na trstiki v povprečni debelini 2 cm

$$g = 0,02 \text{ m} * 18 \text{ kN/m}^3 = 0,36 \text{ kN/m}^2$$

Skupaj lastna teža stropa nad II. nadstropjem

$$\text{Med osema 2-3 znaša} = 5,45 \text{ kN/m}^2$$

- Strop nad I. nadstropjem in pritličjem

Upoštevamo, da se oboki in novo izvedeni stiro-estrih prenašajo direktno na stene po strešnem pravilu in so upoštevani v izračunu vertikalnih obremenitev sten.

- leseni pod debeline 2 cm

$$g = 0,02 \text{ m} * 6 \text{ kN/m}^3 = 0,12 \text{ kN/m}^2$$

- slepi pod – morali 5/5 cm na razdalji 80 cm

$$g = 0,05 \text{ m} * 0,05 \text{ m} * 6 \text{ kN/m}^3 * 1/0,8 \text{ m} = 0,02 \text{ kN/m}^2$$

- AB plošča debeline 12 cm

$$g = 0,12 \text{ m} * 25 \text{ kN/m}^3 = 3,00 \text{ kN/m}^2$$

Skupaj lastna teža stropa nad I. nadstropjem in

$$\text{pritličjem znaša} = 3,14 \text{ kN/m}^2$$

4.2 Koristna obtežba - q

Koristna obtežba je izbrana za površino kategorije C, in sicer (površine brez ovir za gibanje ljudi kot so muzeji, razstavišča in podobno). Za koristno obtežbo smo na delih, ki so dostopni ljudem, obiskovalcem muzeja, upoštevali obtežbo $q = 5,00 \text{ kN/m}^2$ in dodatkom za predelne stene $q = 1,25 \text{ kN/m}^2$. Na podstrešju smo upoštevali obtežbo $2,00 \text{ kN/m}^2$, ker ta del objekta ni dostopen obiskovalcem.

4.3 Potresna obtežba

Celotna prečna sila (na mestu vpetja) v pritlični etaži je določena za vsako od obeh glavnih smeri z enačbo:

$$F_b = S_d (T_1) * m * \lambda \quad (\text{Enačba 1})$$

$S_d (T_1)$ – projektni spekter pri nihajnem času T_1

T_1 – osnovni nihajni čas konstrukcije za translacijsko gibanje v obravnavani smeri

m - celotna masa stavbe nad temelji

λ – korekcijski faktor,

ki ima vrednost $\lambda = 0,85$, če velja $T_1 < 2 * T_c$ in ima stavba več kot dve etaži, v ostalih primerih velja $\lambda = 1,00$.

Sposobnost konstrukcijskega sistema, da prenaša potresne vplive v nelinearnem območju, na splošno dovoljuje, da se pri projektiranju uporabljajo sile, ki so manjše od tistih, ki ustrezajo linearno – elastičnemu odzivu. Da bi se pri projektiranju izognili eksplicitni nelinearni analizi, se sposobnost konstrukcije, da sipa energijo predvsem z duktilnim obnašanjem njihovih elementov in z drugimi mehanizmi, upošteva tako, da se opravi elastična analiza z zmanjšanim spektrom odziva. To dosežemo z uvedbo faktorja obnašanja q . Faktor obnašanja q je faktor, ki se uporablja pri projektiranju, z njim reduciramo sile, dobljene z linearno analizo, da upoštevamo nelinearen odziv konstrukcije. Faktor je povezan z materialom, konstrukcijskim sistemom in postopki projektiranja.

Vrednost potresnega spektra $S_d (T)$ je določena:

$$T_b \leq T \leq T_c : S_d(T) = a_g * S * 2,5/ q \quad (\text{Enačba 2})$$

S_d - projektni spekter

T - nihajni čas linearnega sistema z eno prostostno stopnjo

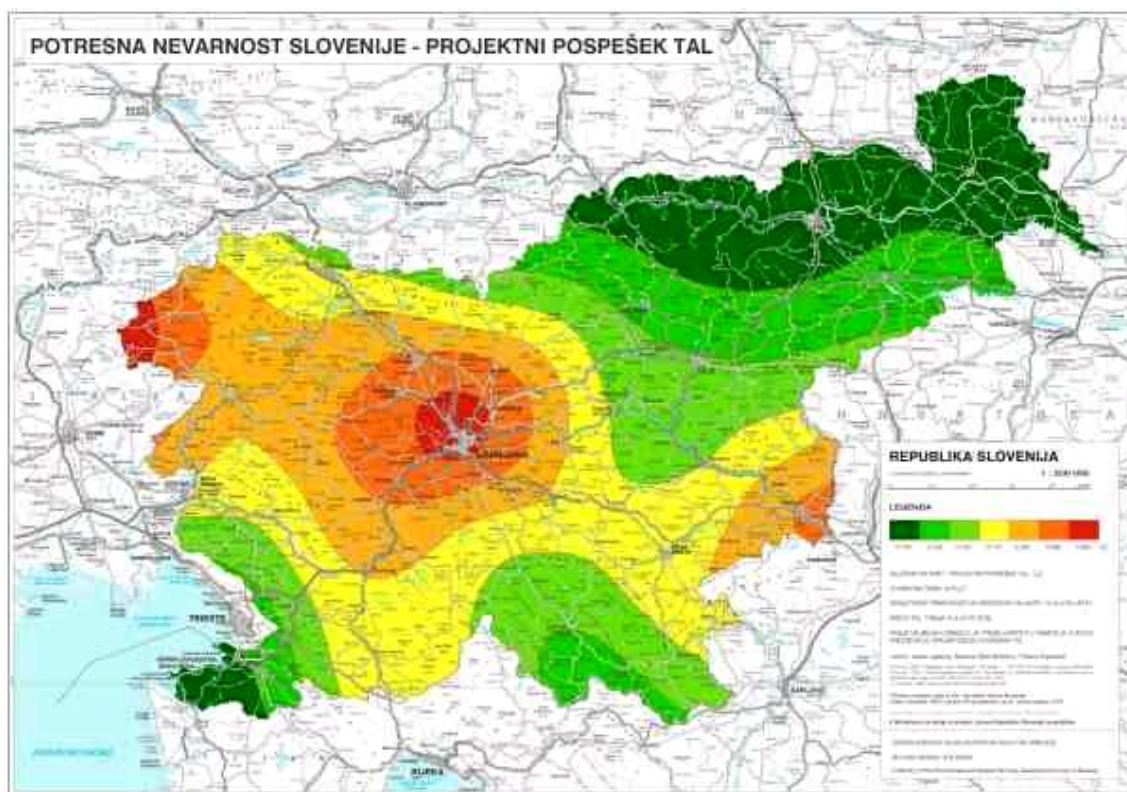
T_b - spodnja meja nihajnega časa na območju spektra, kjer ima spektralni pospešek konstantno vrednost

T_c - zgornja meja nihajnega časa na območju spektra, kjer ima spektralni pospešek konstantno vrednost

a_g - projektni pospešek tal za A tip tal;

Na seizmološki karti Slovenije za povratno dobo 475 let za Železnike odčitamo :

$$a_g = 0,20 \text{ g}$$



Slika 20: Seizmološka karta Slovenije – projektni pospešek tal (Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje)

S - faktor zemljine, vzamemo tip tal A, za katerega velja $S = 1,0$

q - faktor obnašanja konstrukcije, za nearmirane zidane konstrukcije $q = 1,50$.

Na podlagi zgoraj navedenih podatkov lahko izračunamo mejni strižni koeficient BSC_u , ki pomeni razmerje med mejno potresno obtežbo in težo konstrukcije:

$$BSC_u = [(a_g * S * 2,5 / q) * m] / [m * g] = 0,400 \quad (\text{Enačba 3})$$

4.4 Mehanske lastnosti zidovine

Ker na tem projektu ni bilo izdelanih preiskav zidovine in malte, smo bili primorani poiskati karakteristike zidovine in malte iz literature in mehanske lastnosti zidov iz podobnih objektov, kjer so bile preiskave opravljene.

Uporabili smo primerjavo treh različnih zidovin, in sicer smo primerjali:

- neinjektirano zidovino z vrednostmi iz literature in in-situ preiskav,
- zidovina injektirana s cementno malto iz literature in in-situ preiskav,
- zidovina injektirana z apneno malto iz literature in in-situ preiskav.

Preglednica 5: Materialne lastnosti zidov glede na literaturo in in-situ preiskave

	Materialne lastnosti [MPa]	f_c	f_t	E	G
neinjektirano	literatura	0,80	0,05	2.600	80
	in-situ	1,50	0,07	516	128
inj.- cementna malta	literatura	0,80	0,09	2.600	170
	in-situ	2,50	0,28	1.413	487
inj. - apnena malta	literatura	0,80	0,09	2.600	170
	in-situ	2,50	0,20	1.413	487

f_c – tlačna trdnost zidovja

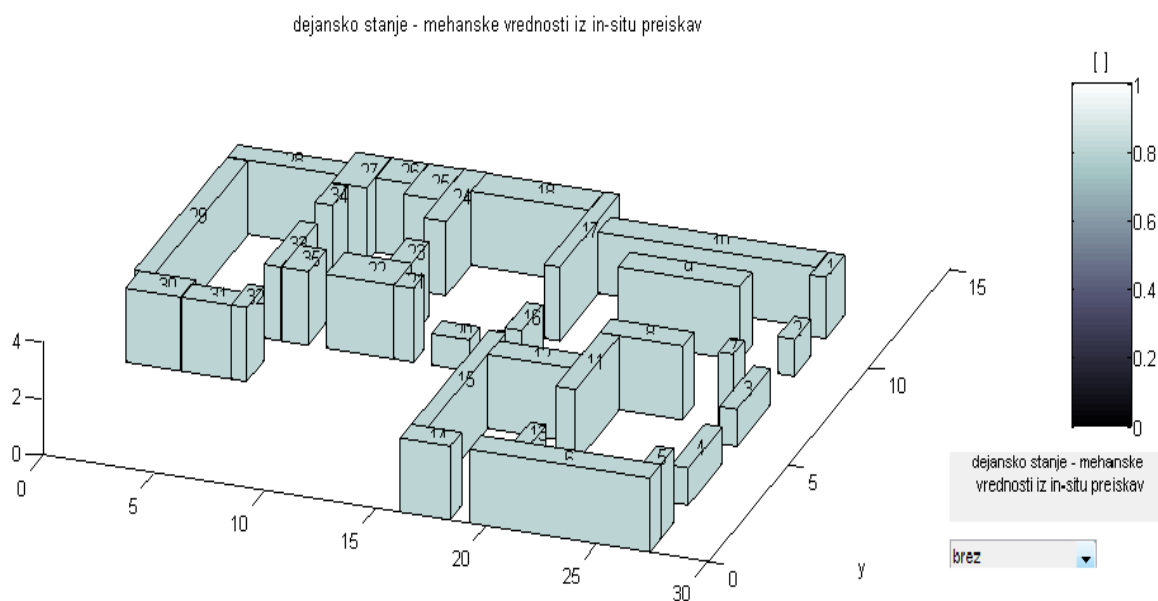
f_t – natezna trdnost zidovja

E – modul elastičnosti zidovja

G – strižni modul zidovja

4.5 Geometrija

Kot etažo, ki je najbolj kritična, smo predvideli pritlično etažo, saj zaradi potresa tam nastanejo največje sile. Na sliki 16 je prikazan tloris pritličja z označenimi posameznimi nosilnimi elementi. Uklonska dolžina elementov je odvisna od podprtosti z oboki ter višine parapetov pri oknih, odprtine in parapetni zidovi se v modelu ne upoštevajo. Višine elementov so tako 2,60 m, med okni pa 1,10 m ali 1,30 m.



Slika 21: Pri računu upoštevani nosilni elementi pritlične etaže

4.6 Postopek računa

Predpisana varnost pri prevzemu predvidene obtežbe po standardu Evrokod (SIST EN 1990 – 2004) je dosežena ob izpolnitvi naslednje pogoja:

$$S_d \leq R_d \quad (\text{Enačba 4})$$

S_d - mejna (projektna) obremenitev

R_d - računaska (projektna) nosilnost

Pri določanju mejne obremenitve se dejanske obremenitve množijo s faktorji varnosti za obtežbe, in sicer glede na tip obtežbe:

$$S_d = \gamma_g G + \gamma_p P, \quad (\text{Enačba 5})$$

kjer sta γ_g in γ_p varnostna faktorja za stalno oziroma koristno obtežbo. Evrokod 1 (SIST EN 1991) za trajno projektno obtežbo predpisuje varnostni faktor za lastno težo $\gamma_g = 1,35$ in koristno obtežbo $\gamma_p = 1,50$, za potresno projektno stanje pa $\gamma_g = 1,0$ in $\gamma_p = 0,3$

4.7 Potresna odpornost

4.7.1 Nelinearna analiza s programom SREMB

Pričakovana potresna obtežba je določena z upoštevanjem nelinearnih pojavov v konstrukciji (faktor obnašanja), zato smo tudi potresno odpornost določili z nelinearno statično analizo. Da dobimo sliko o sposobnosti zidane zgradbe za prenos vodoravne potresne obtežbe, potresno odpornost zgradbe ocenimo s histerezo ovojnice njene kritične etaže. Histerezna ovojnica je krivulja, ki prikazuje odvisnost vodoravnih pomikov etaže od spreminjajoče se vodoravne sile (v našem primeru potresne obtežbe). Tako lahko, ob pravilno predpostavljeni duktilnosti posameznih zidov, ocenimo nosilnost zgradbe na horizontalno obtežbo ter tudi njeno duktilnost. Paziti torej moramo, da sta potresna obtežba kot tudi odpornost konstrukcije določeni z enakimi predpostavkami o duktilnosti.

Potresno odpornost računamo s programom SREMB (Sesmic Resistance of Masonry Buildings). Program uporablja nelinearno analizo, pri čemer upošteva celo vrsto predpostavk in poenostavitev. Deluje tako, da konstrukciji postopoma vsiljuje pomike v smeri analize ter kontrolira, v kolikšni meri se pri tem aktivirajo nosilnosti posameznih elementov in kakšna je njihova izkoriščenost duktilnosti. Rezultat analize je histerezna ovojnica pomikov in sil etaže, iz katere je določena tudi njena potresna odpornost.

4.7.2 Predpostavke računa

Račun je osnovan v glavnem na predpostavkah, ki izhajajo iz etažnega mehanizma:

- zidovi so med seboj povezani z vodoravnimi vezmi in stropovi, togi v svoji ravnini, ta predpostavka navadno velja pri zidanih zgradbah z monolitnimi ali prefabriciranimi masivnimi stropovi;
- zidovi so na zgornjem in spodnjem robu vpeti v stropno konstrukcijo oziroma v prekladni in parapetni del zidu;
- zidove sestavljenih prereзов (L,T,H,+) obravnavamo kot vsoto navpičnih stikov med seboj ločenih zidov, ta predpostavka je sprejemljiva, ker so pri zidanih stavbah prevladujoče strižne deformacije zidov;

- doprinos zidov k odpornosti etaže je odvisen od njihove togosti in nosilnosti ter od njihove deformacije, ki je odvisna od njihovega položaja v tlorisu etaže;
- zidovi prenašajo svoj delež obtežbe, dokler njihove deformacije ne presežejo deformacij na meji porušitve, zidovi prenašajo obtežbo tudi v nelinearnem območju.

4.7.3 Določanje etažne histerezne ovojnice

Etažna histerezna ovojnica je vsota histereznih ovojnic vseh zidov, ki sestavljajo etažo.

Idealizirana elasto-plastična histerezna ovojnica, ki ponazarja obnašanje zidu pri delovanju potresne obtežbe, je odvisna od:

- togosti zidu,
- nosilnosti zidu in
- duktilnosti zidu.

Togost elementov vpliva na razporeditev celotne prečne sile etaže na zidove. Ob predpostavki, da so zidovi vpeti na obeh straneh, je začetna oziroma učinkovita togost zidu enaka.

Nosilnost elementov je odvisna od mehanizma obnašanja elementov oziroma od načina porušitve, ki pa je odvisen od položaja elementa v zgradbi, same zasnove konstrukcije (stebri, stene, način povezanosti zidovja v višini stropov), kvalitete materialov in grajenja ter razmerja med navpično in vodoravno obtežbo. Pri zidanih elementih navadno govorimo o štirih tipih porušitve:

- upogibna porušitev pravokotno na ravnino zidu, je značilna za samostojne zidove, v našem primeru pa predpostavimo povezanost zidov z zidnimi vezmi in z masivnimi stropovi, kar pomeni, da je vpliv tega upogiba minimalen;
- prestrig zidu v vodoravni smeri je redek in nastane predvsem tam, kjer ni vertikalne obtežbe in ga zato ne preverjamo;
- strižna porušitev zaradi prekoračitve nateznih trdnosti v diagonalni smeri zidu;
- upogibna porušitev v ravnini zidu.

Duktilnost elementov v primeru zidanih konstrukcij ne pomeni klasične duktilnosti, se pravi sposobnosti plastifikacije materiala, temveč sposobnost zidovja, da pri velikih vodoravnih deformacijah in poškodbah še vedno prenaša navpično obtežbo in disipira energijo. Faktor duktilnosti definiramo kot razmerje med deformacijo zidu pri njegovi porušitvi in deformacijo zidu na idealizirani meji elastičnosti.

Za določitev potresne odpornosti zgradbe potrebujemo histerezo ovojnice etaže. Potresna odpornost zgradbe je praviloma manjša od maksimalne nosilnosti kritične etaže $H_{tot,max}$, ki smo jo izračunali. Idealizirano klasično elasto-plastično histerezo ovojnice določajo efektivna togost etaže, nosilnost etaže in maksimalni pomik etaže. Efektivno togost dobimo kot razmerje sile etaže na meji elastičnosti in pomikom na meji elastičnosti. Maksimalni pomik etaže je po dogovoru tisti pomik, pri katerem vrednost etažne sile pade pod določen odstotek maksimalne etažne sile. Nosilnost idealizirane ovojnice etaže dobimo z energijskim pogojem, po katerem mora biti površina pod idealizirano histerezo ovojnico enaka površini pod izračunano histerezo ovojnico, saj se pri delovanju vodoravne sile za doseganje enakih deformacij obtežbe v obeh primerih porabi enaka količina energije.

4.7.4 Ocena potresne varnosti

Za oceno potresne varnosti konstrukcije, s tako idealizirano histerezo ovojnice etaže, moramo kontrolirati dva kriterija:

- kriterij nosilnosti in
- kriterij duktilnosti.

Po prvem kriteriju mora biti potresna odpornost zgradbe večja od potresne obtežbe, ki smo jo izrazili z BSC_u . Tako tudi potresno odpornost zgradbe izrazimo v obliki razmerja med nosilnostjo in težo zgradbe. To razmerje imenujemo koeficient potresne odpornosti SRC_u in ga izračunamo

$$SRC_u = H_u / Q_{tot}$$

(Enačba 6)

H_u - potresna odpornost kritične etaže
 Q_{tot} - teža konstrukcije nad kritično etažo.

Veljati mora

$$SRC_u \leq BSC_u \quad (\text{Enačba 7})$$

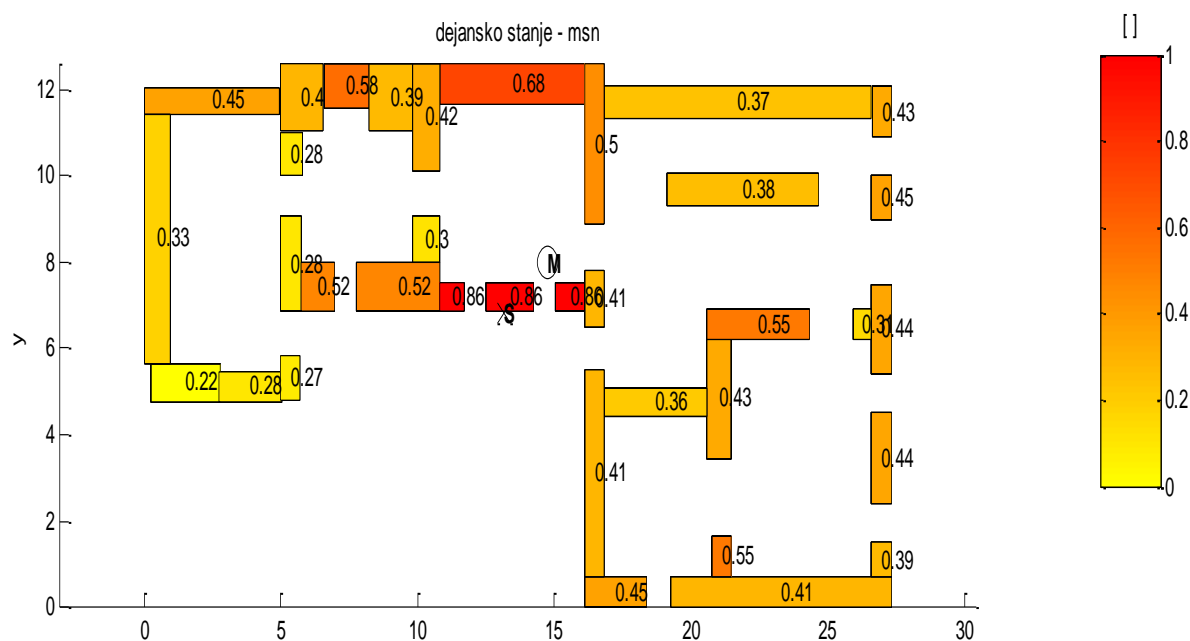
Kriterij duktilnosti pa pravi, da mora biti duktilnost idealizirane histerezne ovojnice večja od tiste, upoštevane pri računu obtežbe.

V programu SREMB, v katerem so izračunane histerezne ovojnice, sta oba pogoja prikazana že na diagramih ovojnic, tako da je hitro razvidno, kolikšna je potresna varnost konstrukcije v primerjavi z zahtevami.

5 REZULTATI

5.1 Kontrola nosilnosti vertikalne obtežbe

Najprej bomo preverili nosilnost na vertikalno obtežbo. Iz slike 22, je razvidno, kateri elementi so bolj obremenjeni in kateri manj.



Slika 22: Vertikalne obremenitve nosilnih elementov

Vidimo, da so najbolj obremenjeni elementi 19, 20 in 21, ki imajo tlačno trdnost 0,86 MPa.

5.2 Potresna odpornost

5.2.1 Rezultati potresne analize dobljeni s programom SREMB

V izračunu s programom SREMB smo upoštevali, že izvedeno injektiranje sten. Program pa nam omogoča predstavitev rezultatov analize v grafični obliki za naslednja stanja:

- začetno stanje,
- stanje na meji elastičnosti,
- stanje pri maksimalni nosilnosti,

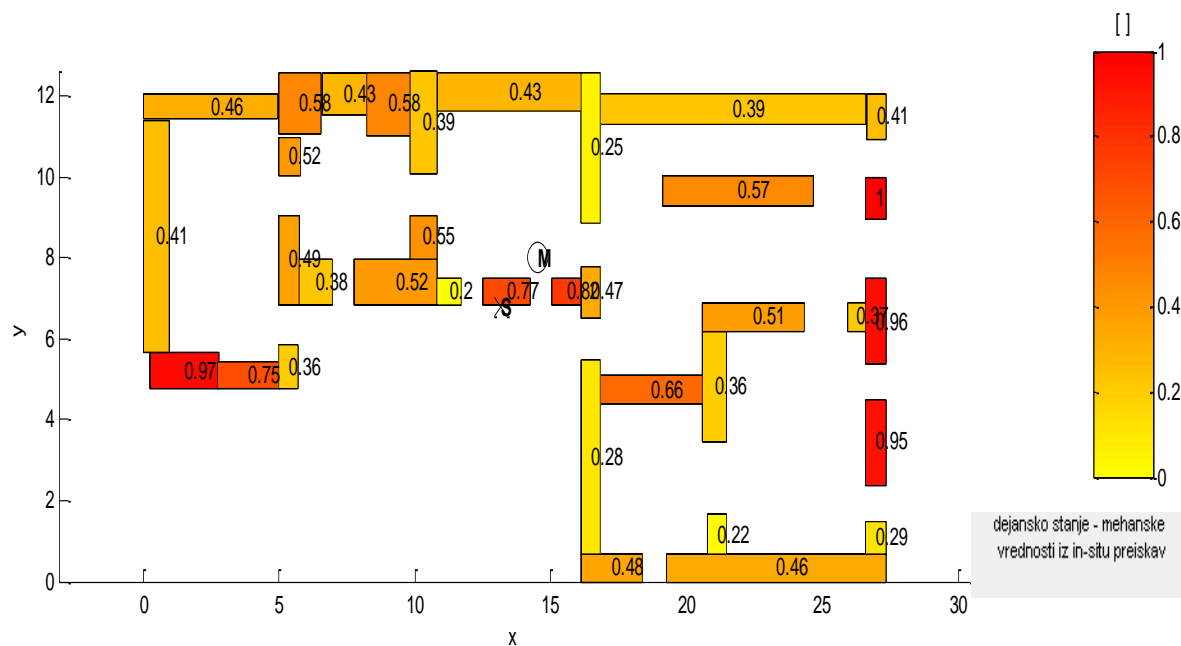
- stanje mejne nosilnosti oziroma stanje porušitve,
- stanje na koncu računa.

V nadaljevanju je opisano, kako bi se obravnavni objekt obnašal med potresom med posameznimi stanji:

ZAČETNO STANJE je uporabno predvsem kot kontrola materialnih in geometrijskih karakteristik ter vertikalnih napetosti elementov.

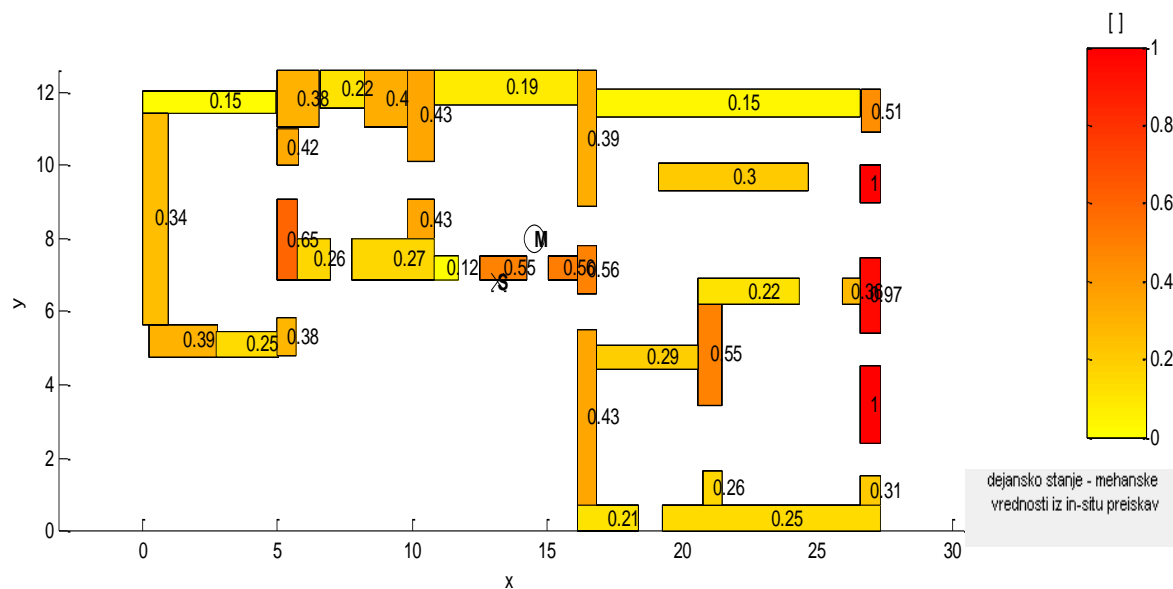
STANJE NA MEJI ELASTIČNOSTI je stanje, ko prvi element doseže mejo elastičnosti na svoji idealizirani histerezni ovojnici elementa. Do tu je histerezna ovojnica linearna, saj so vsi elementi v elastičnem območju. Za posamezne elemente je prikazano razmerje med pomiki elementov (d) v tem stanju in pomiki, ki jih elementi še prenašajo v elastičnem območju (d_e).

Na sliki 23 vidimo, kateri element kot prvi doseže mejo elastičnosti v smeri x vsiljenega pomika, in to je element številka 2, ki je obarvan temno rdeče. Iz slike je ravno tako razvidno, koliko rezerve še imajo ostali elementi, da dosežejo mejo elastičnosti.



Slika 23: Stanje na meji elastičnosti: d/d_e smer x

Poglejmo si še smer y (slika 24) iz katere vidimo, da elementa številka 2 in 4 prva dosežeta mejo elastičnosti v smeri y vsiljenega pomika, vendar je blizu meji elastičnosti tudi element številka 3 z vrednostjo 0,97.



Slika 24 – stanje na meji elastičnosti: d/de – smer y

5.2.2 Stanje pri maksimalni nosilnosti

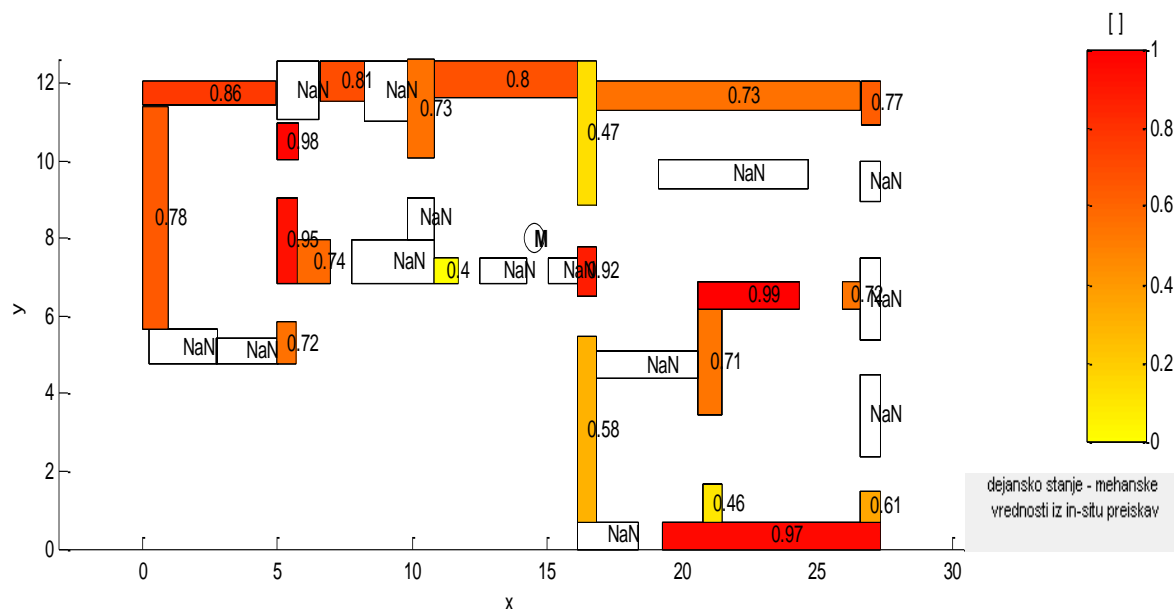
To stanje predstavlja najvišjo točko na diagramu histerezne ovojnice etaže. Najprej si pogledjmo situacijo v smeri x.

Na sliki 25 vidimo, da so poleg elementa 2 (ki je prvi dosegel mejo elastičnosti) porušeni tudi elementi 3,4,12,19,20,30,31. Porušenih je 8 elementov od 35, kar predstavlja skoraj 23 % vseh elementov.

5.2.3 Stanje pri mejni nosilnosti oziroma poružitve

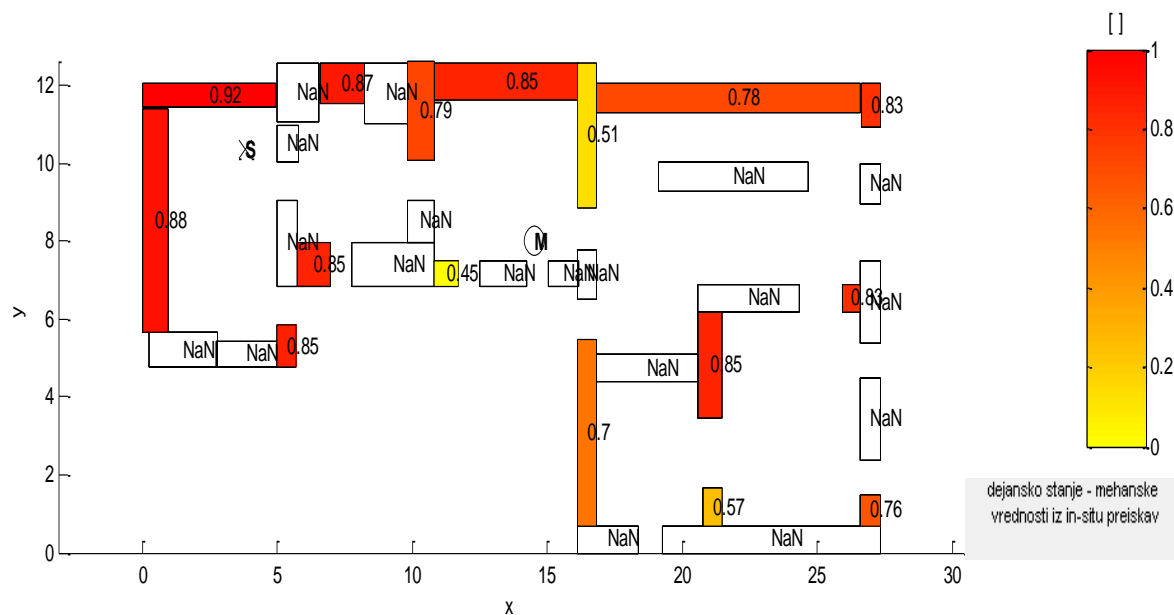
Pri stanju poružitve sila na histerezni ovojnici pade pod določen odstotek maksimalne nosilnosti. Gre za predpostavko, da zidane konstrukcije lahko še nekaj časa nosijo obtežbo s prerazporejanjem obremenitev.

V smeri x so pri mejni nosilnosti porušeni elementi, ki so na sliki 27 označeni belo. Ta slika prikazuje izkoriščenost mejnih pomikov. Vidimo, da je porušanih 14 elementov od 35-ih kar predstavlja 40 odstotkov vseh elementov.

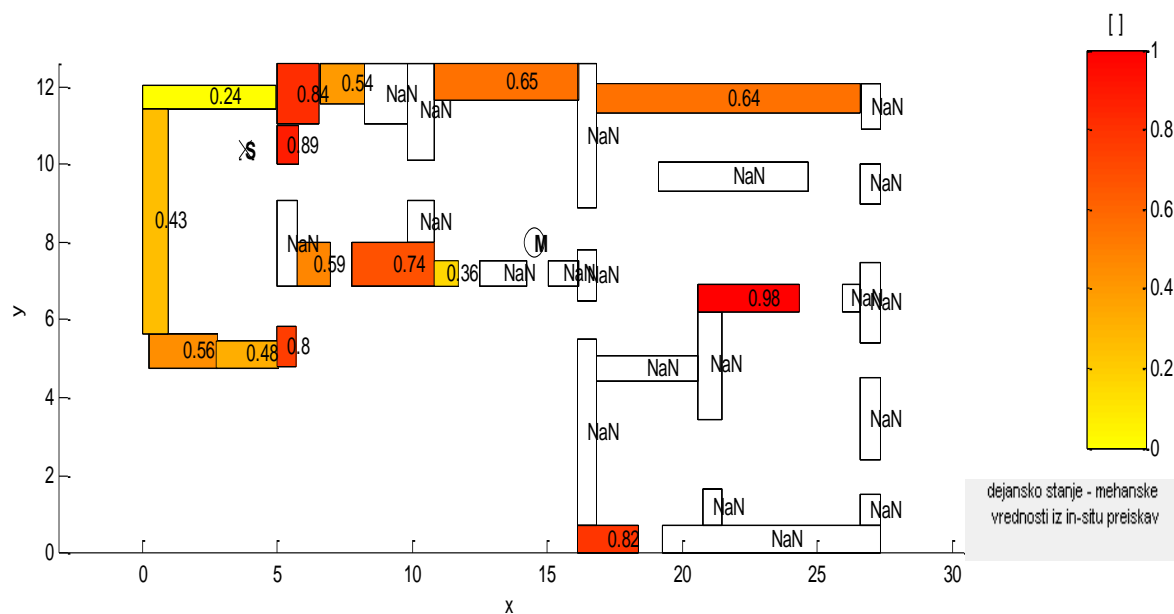


Slika 27: Stanje pri mejni nosilnosti: razmerje pomikov d/d_u , smer x

Na sliki 28 je prikazana smer y, iz katere je razvidno, da je porušena celotna fasadna stena, ki gleda na cesto. Porušanih je 13 elementov kar predstavlja 37,14 odstotka vseh elementov.



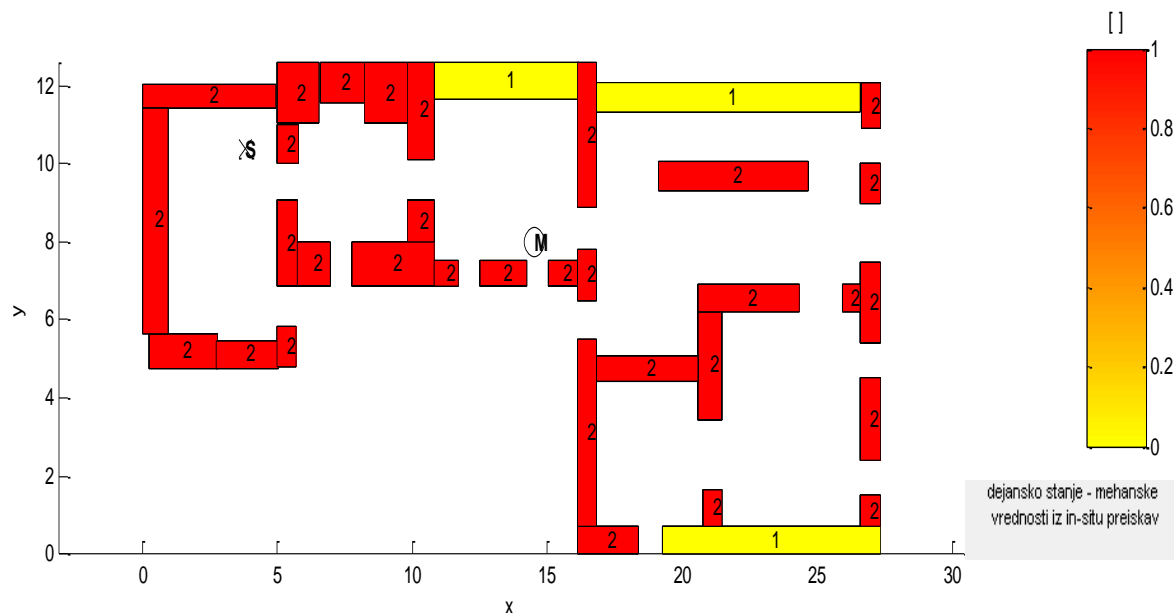
Slika 29: Stanje pri koncu računa – razmerje pomikov d/d_u , smer x



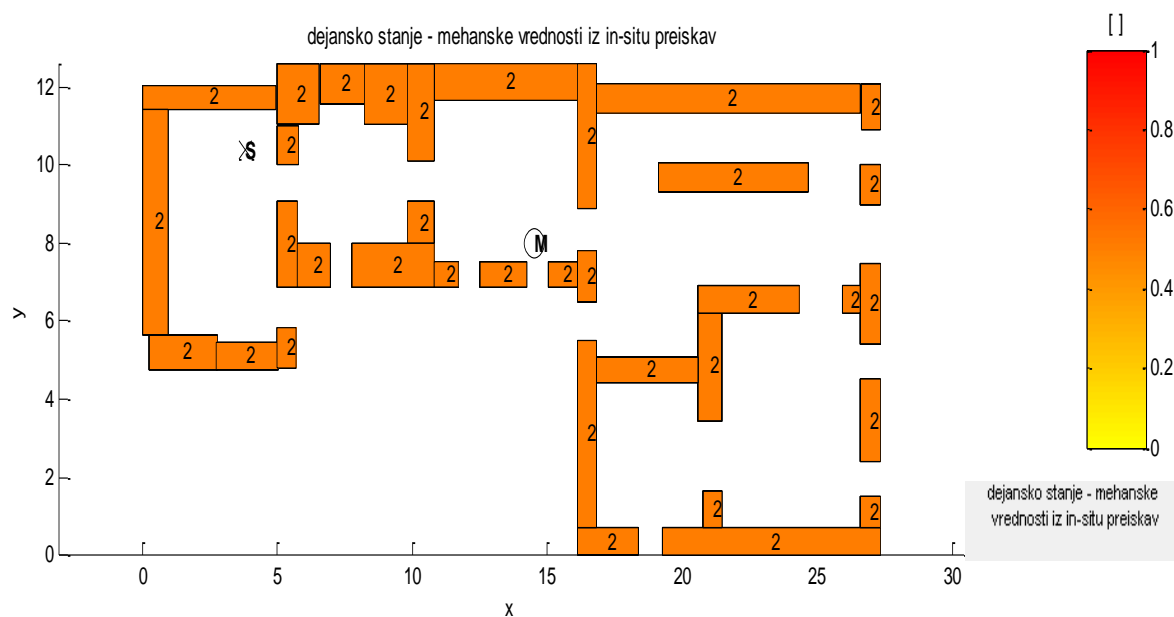
Slika 30: Stanje pri koncu računa – razmerje pomikov d/d_u , smer y

Program SREMB nam omogoča tudi ogled, do kakšne porušitve je prišlo v elementu, ali je porušen zaradi upogiba ali striga.

Rumena barva na slikah 31 in 32 pomeni strižno porušitev, rdeča barva pa upogibno porušitev. V smeri x (Slika 31) vidimo, da so samo trije elementi strižno porušeni, vsi ostali pa upogibno. V smeri y (Slika 32) so vsi elementi upogibno porušeni.



Slika 31: Način porušitve, smer x



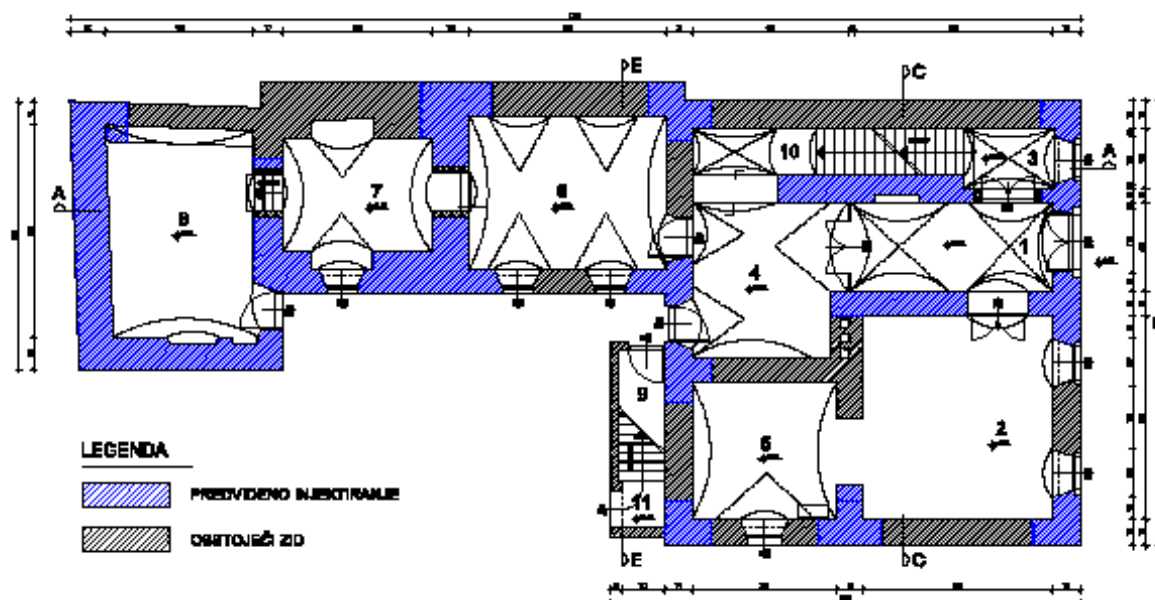
Slika 32: Način porušitve, smer y

5.2.5 Histerezne ovojnice

Na podlagi teh izračunov nam program SREMB izriše histerezno ovojnico etaže ter njeno idealizacijo. V diagramu sta izrisana pogoja potrebne potresne odpornosti ter duktilnosti, ki sta v diagramu zrisani kot črtkani črti.

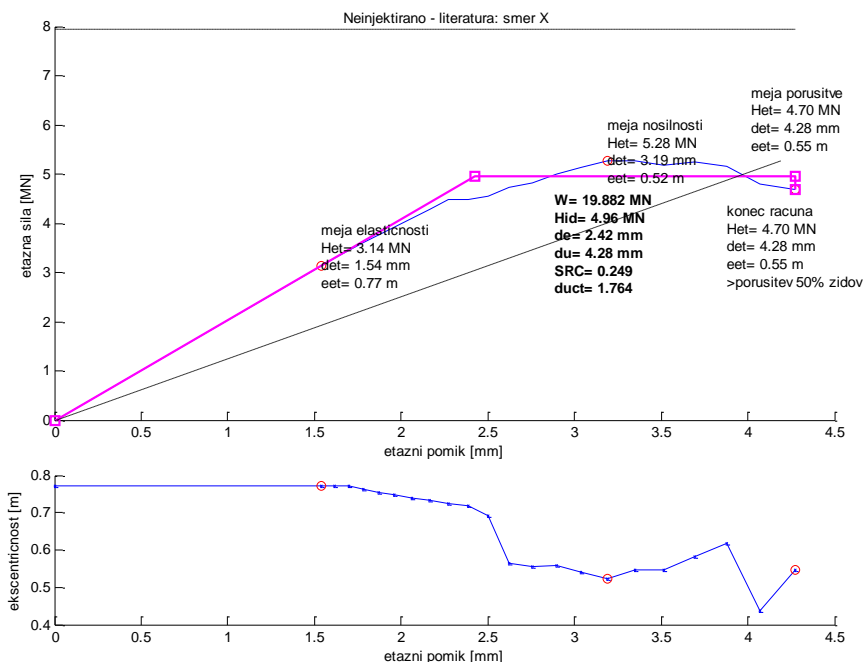
5.2.5.1 Neinjektiran zid

V diagramu histerezne ovojnice, kjer je izračun izveden na podlagi predpostavke, da zidovi niso injektirani, sanacija objekta pa je že izvedena, kot je opisano v poglavjih 2.2, 2.3, 2.4, vidimo, da ima objekt še vedno zelo majhno potresno odpornost glede na sedanje predpise. V smeri x (Slika 33) znaša koeficient potresne odpornosti $SRC_u = 0,249$, v smeri y (Slika 34) pa je $SRC_u = 0,208$, medtem ko je mejni strižni koeficient $BSC_u = 0,400$. Torej lahko takoj zaključimo, da je bil objekt potreben obnove glede na nizko potresno odpornost. Projektant ni analiziral obstoječega stanja, zato se ni predvideval, da ima objekt tako nizko potresno odpornost. Kot vidimo (Slika 35) je po projektu predvideno delno injektiranje sten.

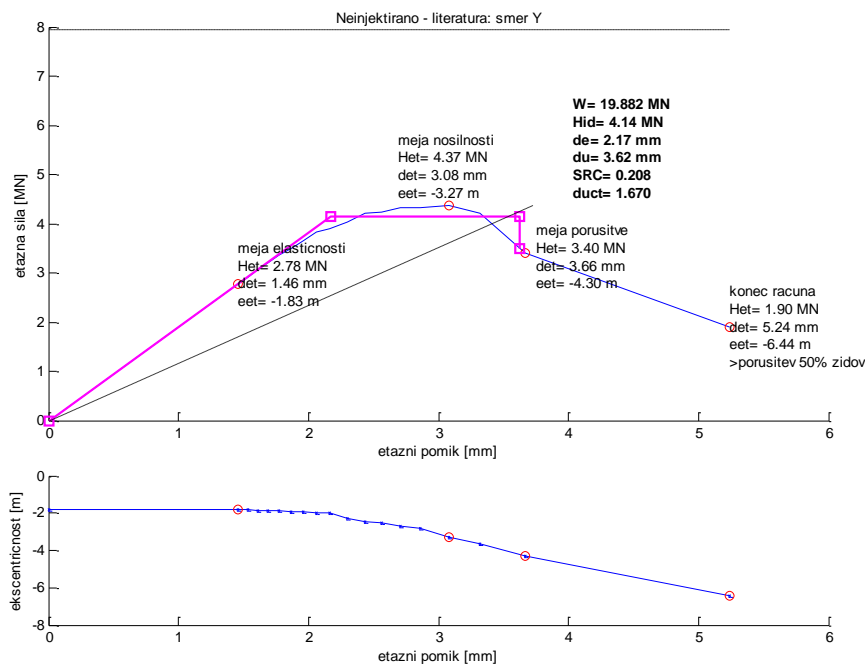


Slika 35: Tloris pritličja s predvidenim projektним injektiranjem sten

Sliki 33 in 34 upoštevata mehanske vrednosti zidov iz literature ($f_c = 0,80 \text{ MPa}$, $f_t = 0,05 \text{ MPa}$, $E = 2.600 \text{ Mpa}$, $G = 80 \text{ Mpa}$).

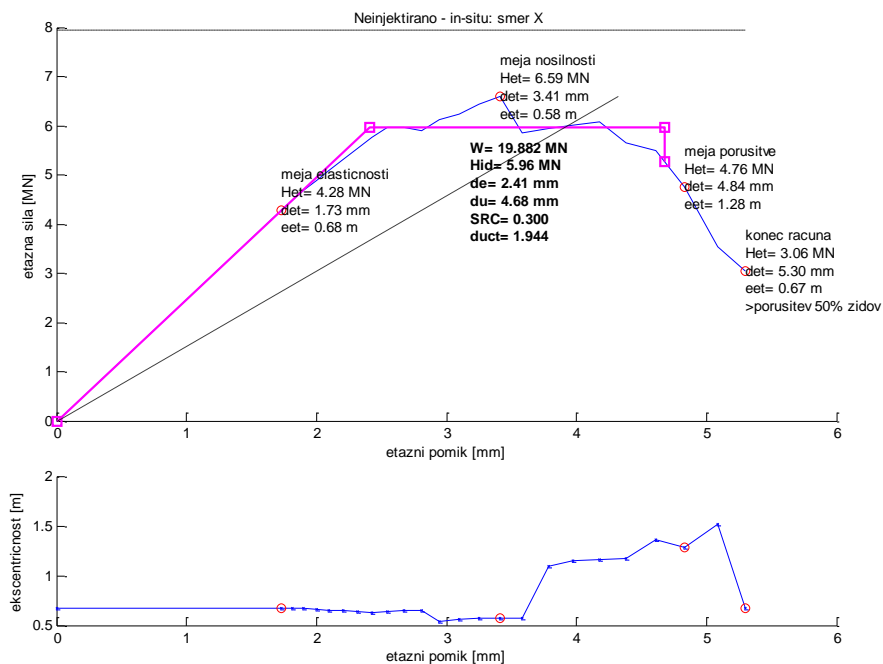


Slika 33: Histerezna ovojnica etaže v smeri x – neinjektiran zid, mehanske vrednosti iz literature

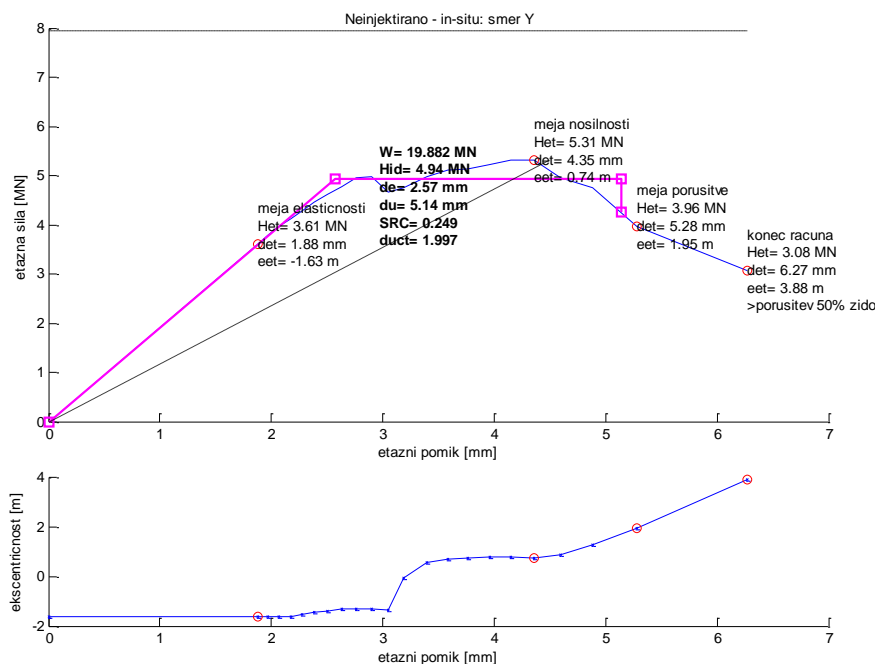


Slika 34: Histerezna ovojnica etaže v smeri y – neinjektiran zid, mehanske vrednosti iz literature

Na slikah 36 in 37 smo izvedli primerjavo, če namesto mehanskih vrednosti iz literature vzamemo tiste iz in-situ preiskav ($f_c=1,50$ MPa, $f_t= 0,07$ MPa, $E=516$ MPa, $G=128$ MPa), in ugotovili, da je koeficient potresne odpornosti pri slednjih nekoliko večji, in sicer v x smeri znaša 0,300 in v y smeri 0,249. Torej ugotovimo, da razlika med rezultati s karakteristikami iz literature in in-situ preiskav znaša v x smeri 20,05 odstotka v y smeri pa 19,71 odstotka.



Slika 36: Histerezna ovojnica etaže v smeri x – neinjektiran zid, mehanske vrednosti iz in-situ preiskav

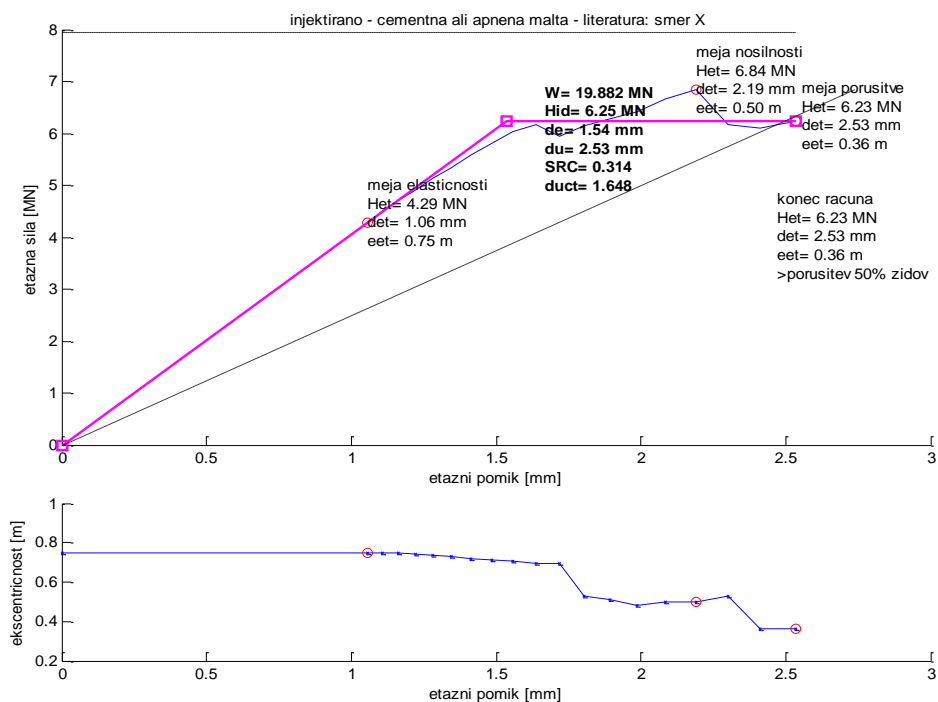


Slika 37: Histerezna ovojnica etaže v smeri y – neinjektiran zid, mehanske vrednosti iz in-situ preiskav

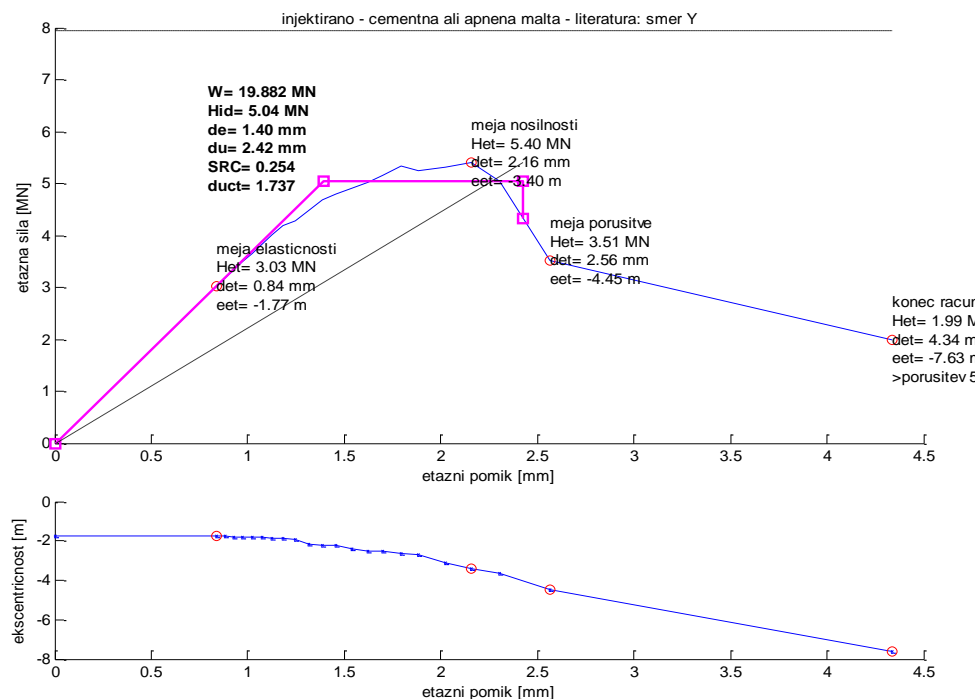
5.2.5.2 Injektiviran zid s cementno ali z apneno malto – upoštevane mehanske vrednosti iz literature

Na slikah 38 in 39 sta prikazani histerezni ovojnici za injektiviran zid s cementno ali z apneno malto z upoštevanjem vrednosti iz literature ($f_c=0,80$ MPa, $f_t=0,09$ MPa, $E=2.600$ MPa, $G=170$ MPa). Vidimo, da se koeficient potresne odpornosti ne izboljša prav veliko. V smeri x je koeficient potresne odpornosti $SRC_u = 0,314$, v smeri y pa $SRC_u = 0,254$, kar pa še vedno ne zadošča pogoju $BSC_u = 0,400$.

Potresna odpornost v x smeri se nam je povečala za 26,10 odstotka, če gledamo neinjektiviran zid ob upoštevanju podatkov mehanskih lastnosti iz literature. Opazimo, da je potresna odpornost kljub injektiviranosti zidu s cementno ali apneno malto z upoštevanjem mehanskih lastnosti ($0,314$) iz literature približno enaka kot potresna odpornost neinjektiviranega zidu z upoštevanjem mehanskih lastnosti ($0,300$) iz in-situ preiskav.



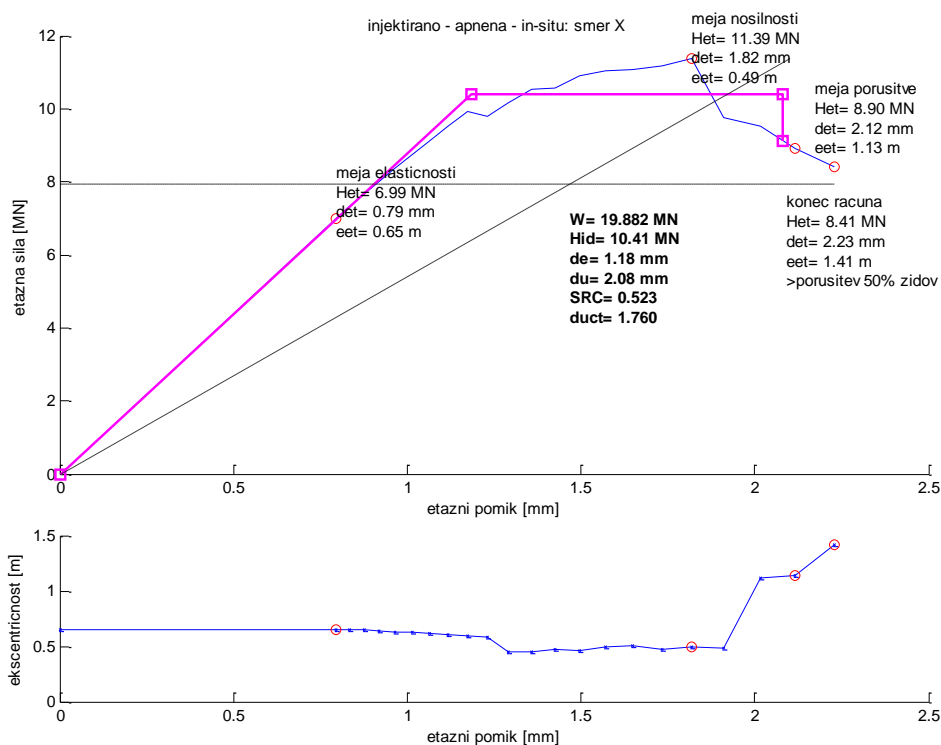
Slika 38: Histerezna ovojnica etaže v smeri x – injektiran zid s cementno malto ali z apneno malto, mehanske vrednosti iz literature



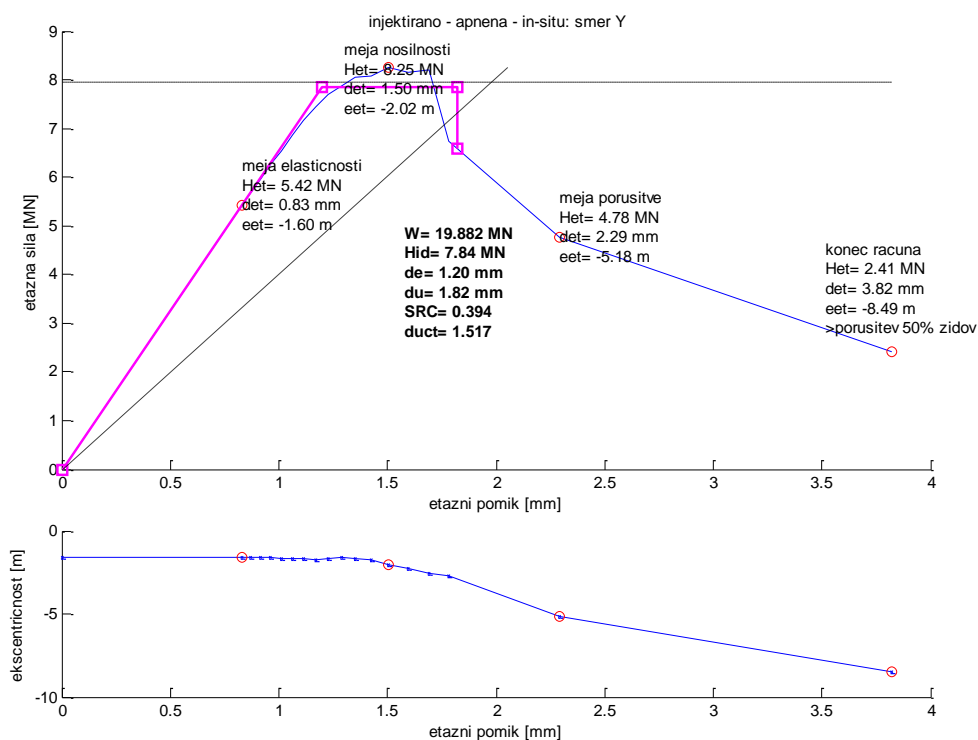
Slika 39: Histerezna ovojnica etaže v smeri y – injektiran zid s cementno ali z apneno malto, mehanske vrednosti iz literature

5.2.5.3 Injektiran zid z apneno malto – z upoštevanjem mehanskih vrednosti iz in-situ preiskav

Na slikah 40 in 41 takoj opazimo občutno povečanje potresne odpornosti in sicer nam v x smeri kaže koeficient potresne odpornosti $SRCu = 0,523$ kar je za 74,33 odstotka več kot neinjektiran zid z upoštevanjem mehanskih lastnosti iz in-situ preiskav. V y smeri pa je koeficient potresne odpornosti $SRCu = 0,394$, kar pomeni 40,16 odstotno povečanje glede na neinjektiran zid z upoštevanjem mehanskih lastnosti iz in-situ preiskav. Z injektiranjem zidov z apneno malto z upoštevanjem mehanskih vrednosti iz in-situ preiskav ugotovimo, da zadostimo zahtevani vrednosti mejnega strižnega koeficienta $BSC_u = 0,400$ le v x smeri, v y smeri pa ne.



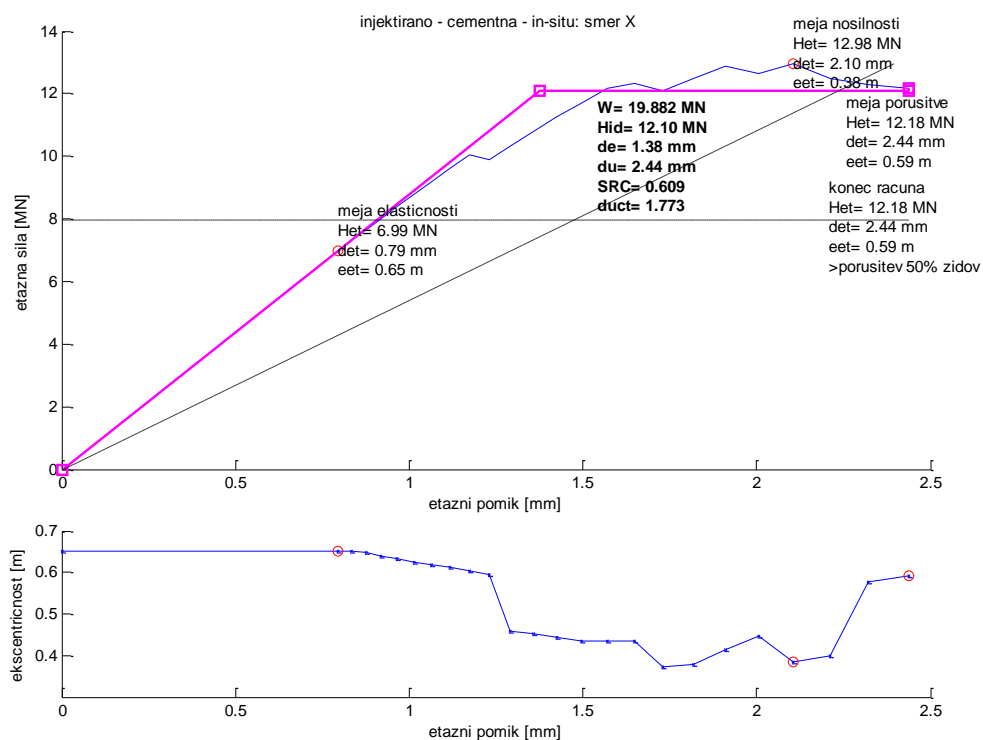
Slika 40: Histerezna ovojnica etaže v smeri x – injektiran zid z apneno malto, mehanske vrednosti iz in-situ preiskav



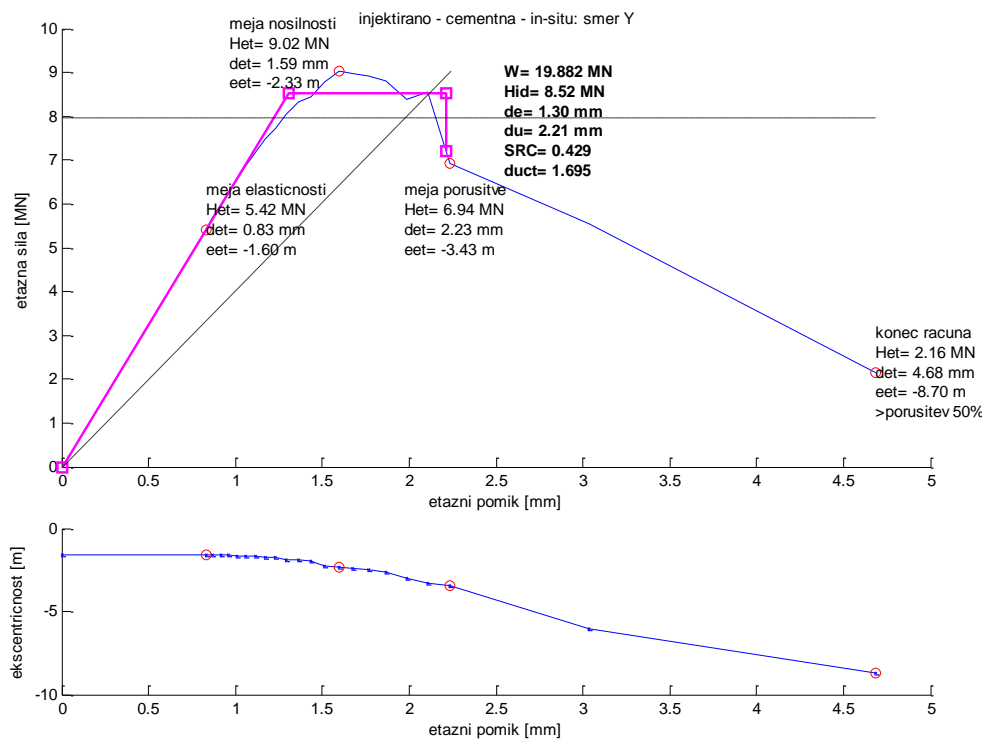
Slika 41: Histerezna ovojnica etaže v smeri y – injektiran zid z apneno malto, mehanske vrednosti iz in-situ preiskav

5.3.5.4 Injektiran zid s cementno malto – z upoštevanjem mehanskih vrednosti iz in-situ preiskav

Na slikah 42 in 43 vidimo, da se koeficient potresne odpornosti SRCu v x smeri še poveča in znaša $SRCu = 0,609$, kar je 52,25 odstotka več od zahtevanega, v y smeri pa znaša koeficient potresne odpornosti $SRCu = 0,429$, kar je 7,25 odstotka več od zahtevanega.



Slika 42: Histerezna ovojnica etaže v smeri x – injektiran zid s cementno malto, mehanske vrednosti iz in-situ preiskav



Slika 43: Histerezna ovojnica etaže v smeri x – injektiran zid s cementno malto, mehanske vrednosti iz in-situ preiskav

6 ANALIZA REZULTATOV

Primerjava izračunanih odpornosti nam pokaže, da je neinjektiran zid v x smeri na podlagi računa z vrednostmi iz literature skoraj 2,5 krat manj potresno odporen kot injektiran zid s cementno malto na podlagi izračuna z vrednostmi iz in-situ preiskav.

V y smeri pa se nam koeficient potresne odpornosti poveča z injektiranjem s cementno malto za malo več kot dvakrat.

Glede na dobljene rezultate potresne odpornosti ki v x smeri znaša 0,609 in v y smeri 0,429 in na zahtevano potresno odpornost, ki znaša 0,400 lahko z gotovostjo sklepamo, da je Muzej Železniki tako v x smeri kot v y smeri potresno odporen glede na današnje zahteve in predpise.

Preglednica 6 : Primerjava vrednosti koeficienta potresne odpornosti

Izvedeno stanje	mehanske vrednosti vzete iz	koeficient SRC_u	smer
neinjektiran zid	literature	0,249	x
neinjektiran zid	literature	0,208	y
neinjektiran zid	in-situ	0,300	x
neinjektiran zid	in-situ	0,249	y
injektiran zid z apneno oziroma cementno malto	literature	0,314	x
injektiran zid z apneno oziroma cementno malto	literature	0,254	y
injektiran zid z apneno malto	in-situ	0,523	x
injektiran zid z apneno malto	in-situ	0,394	y
injektiran zid s cementno malto	in-situ	0,609	x
injektiran zid s cementno malto	in-situ	0,429	y

7 ZAKLJUČEK

Muzej Železniki je objekt, ki je bil zgrajen okoli leta 1637 in je zaradi svoje zgodovinske vrednosti zaščiten kot arhitekturni spomenik prve kategorije.

Sanacija oziroma rekonstrukcija objekta je bila potrebna zaradi funkcionalnih potreb, posodobitve organizacijske sheme muzejske dejavnosti, neustreznih obstoječih instalacij, kompozicijsko neustreznega predelanega dela cestne fasade in dela notranjosti, dotrajanih tlakov, stavbnega pohištva in dela konstrukcijskih elementov.

Muzej ima obliko črke L, s krajšo stranico ob cesti. Daljša stranica se vzdolž y smeri stika po celotni dolžini in višini s sosednjo hišo. Objekt ima dve nadstropji. Na cestni fasadi je balkon s kamnitima nosilcema, na notranji dvoriščni strani pa sta v prvem in drugem nadstropju lesena »ganka«.

Leta 2003 se je investitor, Občina Železniki, odločil za fazno, toda temeljito obnovo muzeja v Železnikih in je naročil izdelavo PGD projekta pri podjetju ELEA iC d. o. o. iz Ljubljane, številka 3088, z datumom april 2003. S sanacijskimi deli se je pričelo leta 2004 ter delno zaključilo zaradi ekonomske krize v letu 2009. Glede na projekt in izvedbo del ter odločitvijo, da se injektiranje izvede na vseh zidovih in obokih, sem prišel na misel oziroma idejo, da v diplomski nalogi preverim dejanske rezultate uspešnosti sanacije glede zahtevane potresne odpornosti objekta.

Na osnovi rezultatov izračunov sklepamo, da samo delno injektiranje sten, kot je bilo predvideno v projektu, ne bi zadostovalo današnjim zahtevam glede potresne odpornosti objekta. Rezultati kažejo, da bi moral projektant predvideti injektiranje vseh sten objekta. Projektant bi se lažje pravilno odločil, če bi bile izvedene predhodne preiskave obstoječih temeljev in obstoječega zidovja.

Po odstranitvi ometov in nasutja nad oboki so bile ugotovljene razpoke, zato se je izvedlo injektiranje vseh sten in obokov, razen stene proti sosednjemu objektu zaradi sporov na relaciji lastnik sosednjega objekta in investitor. Po mojem izračunu je to bistveno pripomoglo k boljši potresni odpornosti objekta.

Analiza potresne odpornosti objekta pred injehtiranjem sten (že odstranjeni težki nasipi in izvedene razbremenilne plošče), je pokazala, da je potresna odpornost glede na današnje veljavne predpise za približno polovico premajhna.. V x smeri je koeficient potresne odpornosti $SRC_u = 0,249$ pri izračunu z vrednostmi iz literature in $SRC_u = 0,300$ z upoštevanjem mehanskih lastnosti iz in-situ preiskav. Podobna slika je v y smeri, kjer je koeficient potresne odpornosti $SRC_u = 0,208$ (literatura) in $SRC_u = 0,249$ (in-situ). Kot vidimo, neinjehtiran zid ne ustreza potresni odpornosti $BSC_u = 0,400$, ne glede na to, ali vzamemo mehanske vrednosti iz literature oziroma in-situ preiskav.

Torej je bila odločitev investitorja, da je naročil injehtiranje čim večjega dela objekta s cementno malto, pravilna, saj iz izračunov razberemo, da se je potresna odpornost v smeri x povečala, in sicer znaša faktor potresne odpornosti $SRC_u = 0,609$ v x smeri in v y smeri $SRC_u = 0,429$. Na podlagi naših izračunov lahko trdimo, da Muzej Železniki ustreza tudi današnjim zahtevam in predpisom glede potresne odpornosti objekta.

Zanimivo pa je, da se projektant oziroma investitor ni odločil za podrobnejše preiskave same kvalitete temeljev oziroma zidovine, ampak je projektant stanje ocenil na osnovi ogleda konstrukcije ter verjetno na osnovi svojih lastnih izkušenj. Poudariti pa je potrebno, da je projekt, vsaj glede gradbenih konstrukcij izveden v pravo smer in tudi po našem izračunu se pokaže, da se odpornost objekta z ukrepi, navedenimi v gradbenih konstrukcijah, poveča. Vendar pa je k zadostitvi današnjih predpisov glede potresne odpornosti prinesla odločitev investitorja, da se injehtira s cementno malto celoten objekt.

VIRI

Tomažević, M. 2009. Potresno odporne zidane stavbe. Ljubljana, Tehnis d.o.o.,: 301 str.

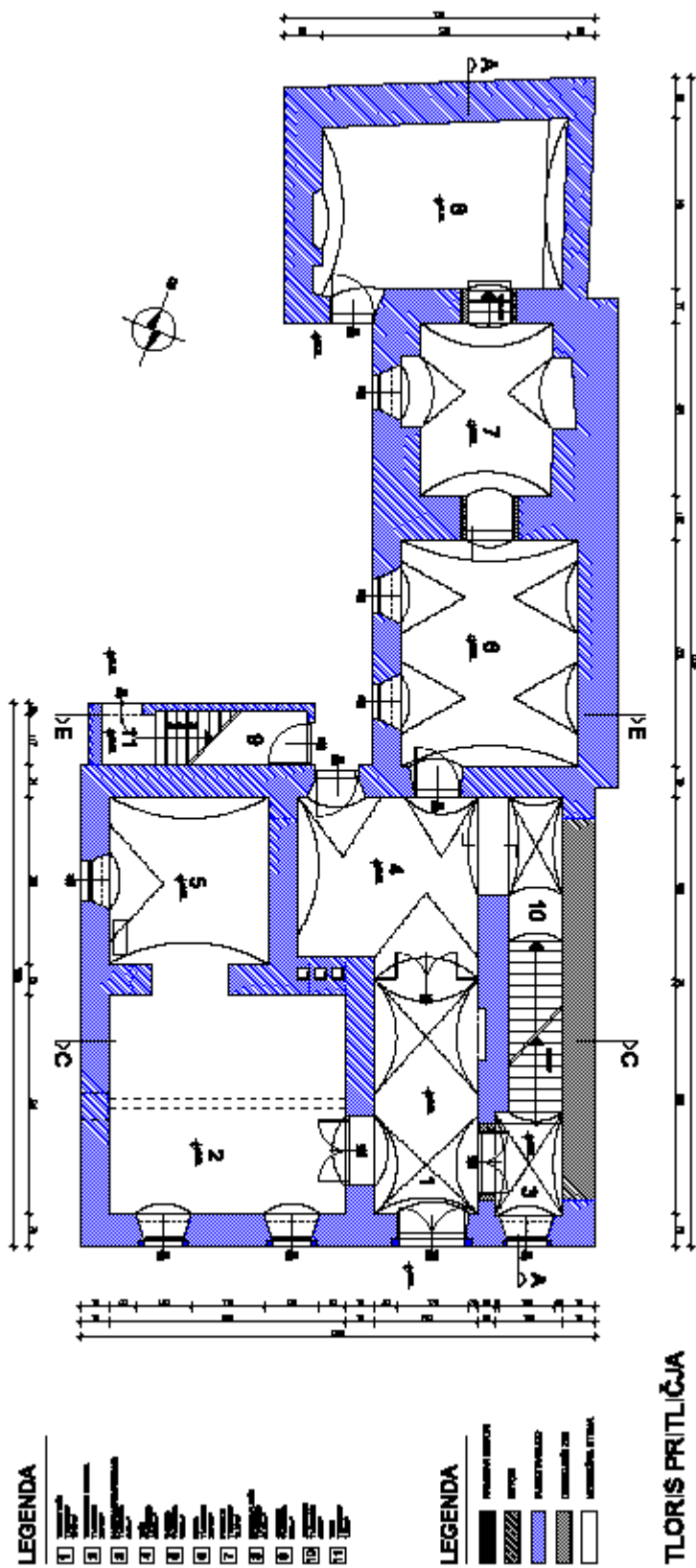
Fajfar, P., Fischinger. M, Beg, D. 2009. Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih – Evrokod 8: Projektiranje potresno odpornih konstrukcij. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije: 241 str.

Elea iC d.o.o. 2003. PGD projekt številka 3088 – arhitektura, gradbene konstrukcije – Prenova Muzeja v Železnikih s povečanjem v podstrešje. Ljubljana, Elea iC d.o.o.,:62 str.

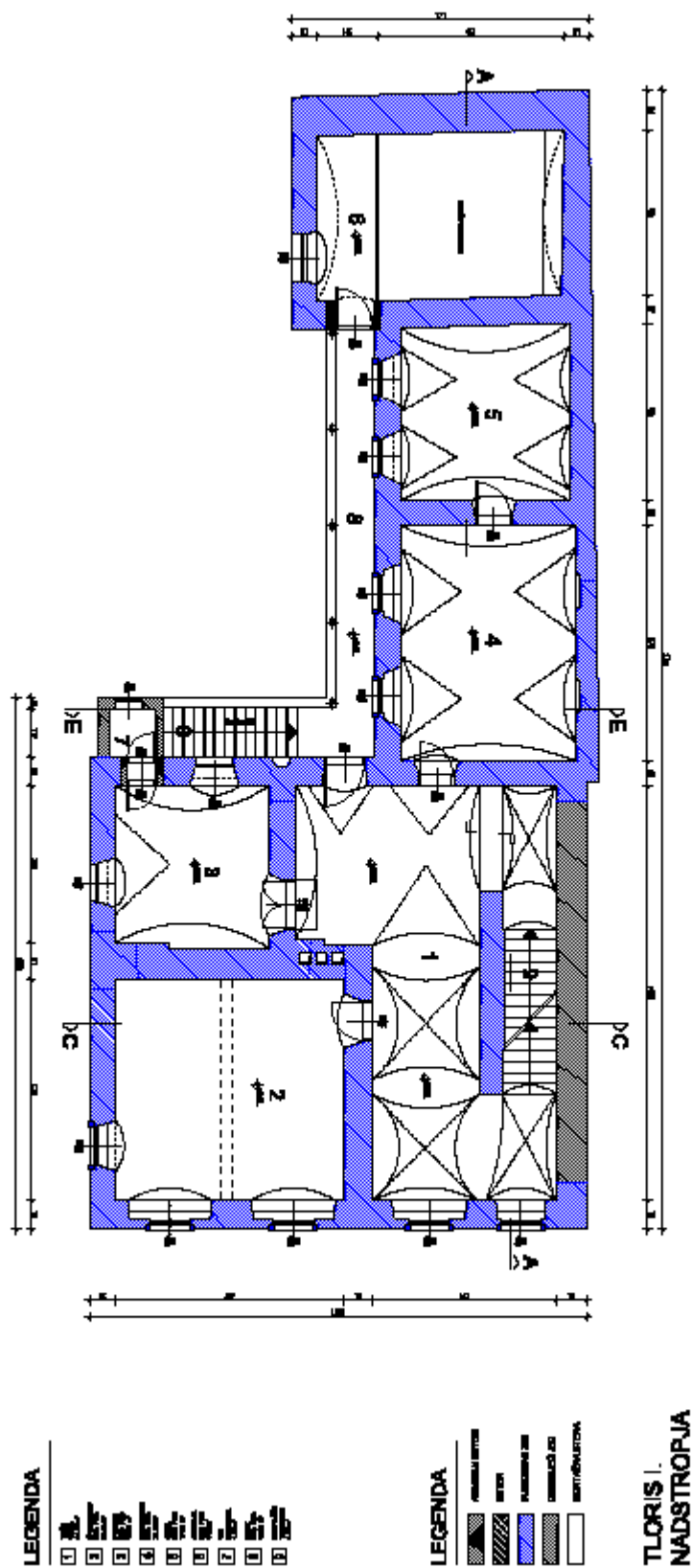
PRILOGE

- priloga 1 – tloris pritličja – dejansko stanje injektiranih zidov
- priloga 2 – tloris I. nadstropja – dejansko stanje injektiranja zidov
- priloga 3 – tloris II. nadstropja – dejansko stanje injektiranih zidov
- priloga 4 – tloris podstrešja – dejansko stanje injektiranih zidov
- priloga 5 – vzdolžni prerez A-A
- priloga 6 – prečni prerez C-C
- priloga 7 – prečni prerez E-E

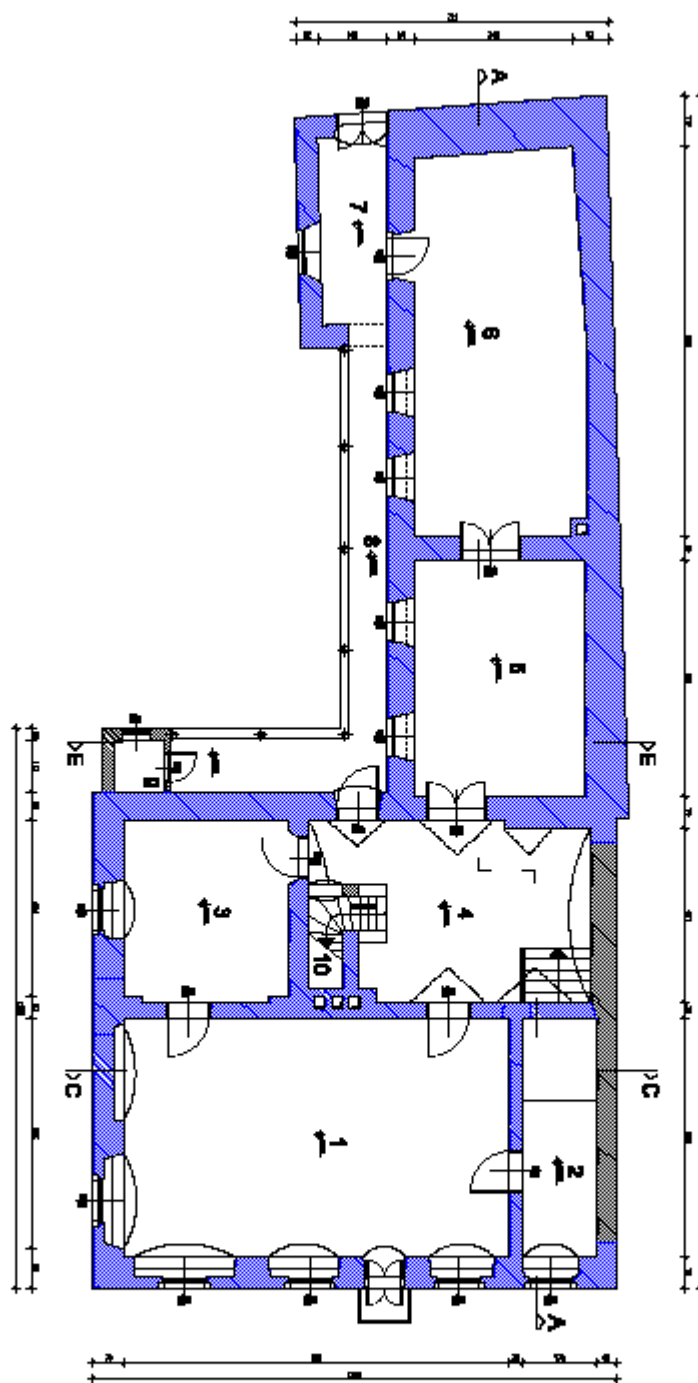
Priloga 1: Tloris pritličja – dejansko injektirani zidovi



Priloga 2: Tloris I. nadstropja – dejansko injektirani zidovi



Priloga 3: Tloris II. nadstropja – dejansko injektirani zidovi



LEGENDA

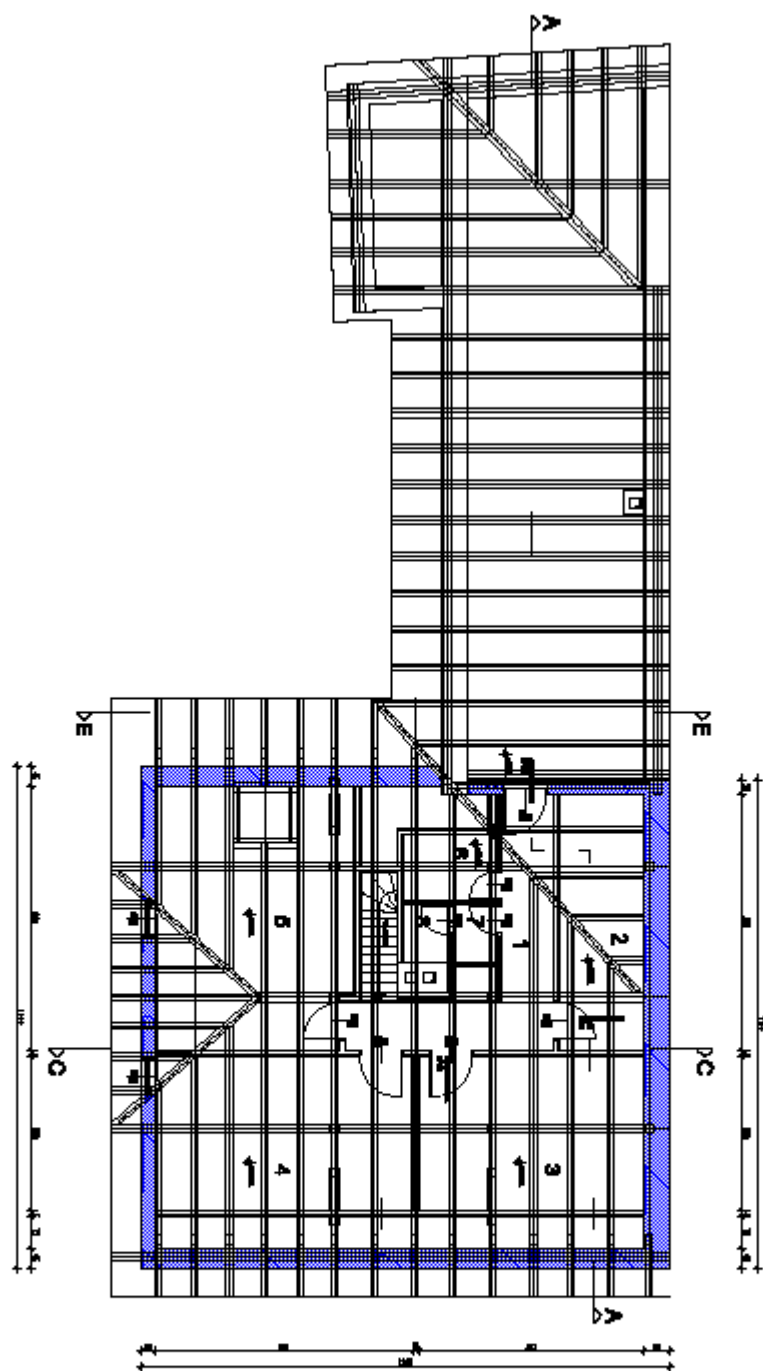
- 1. Stena
- 2. Stena
- 3. Stena
- 4. Stena
- 5. Stena
- 6. Stena
- 7. Stena
- 8. Stena
- 9. Stena
- 10. Stena

LEGENDA

- 1. Ploščica
- 2. Beton
- 3. Injektirani zid
- 4. Injektirani zid
- 5. Injektirani zid
- 6. Injektirani zid

**Tloris II.
 NADSTROPJA**

Priloga 4: Tloris podstrešja – dejansko injektirani zidovi



LEGENDA

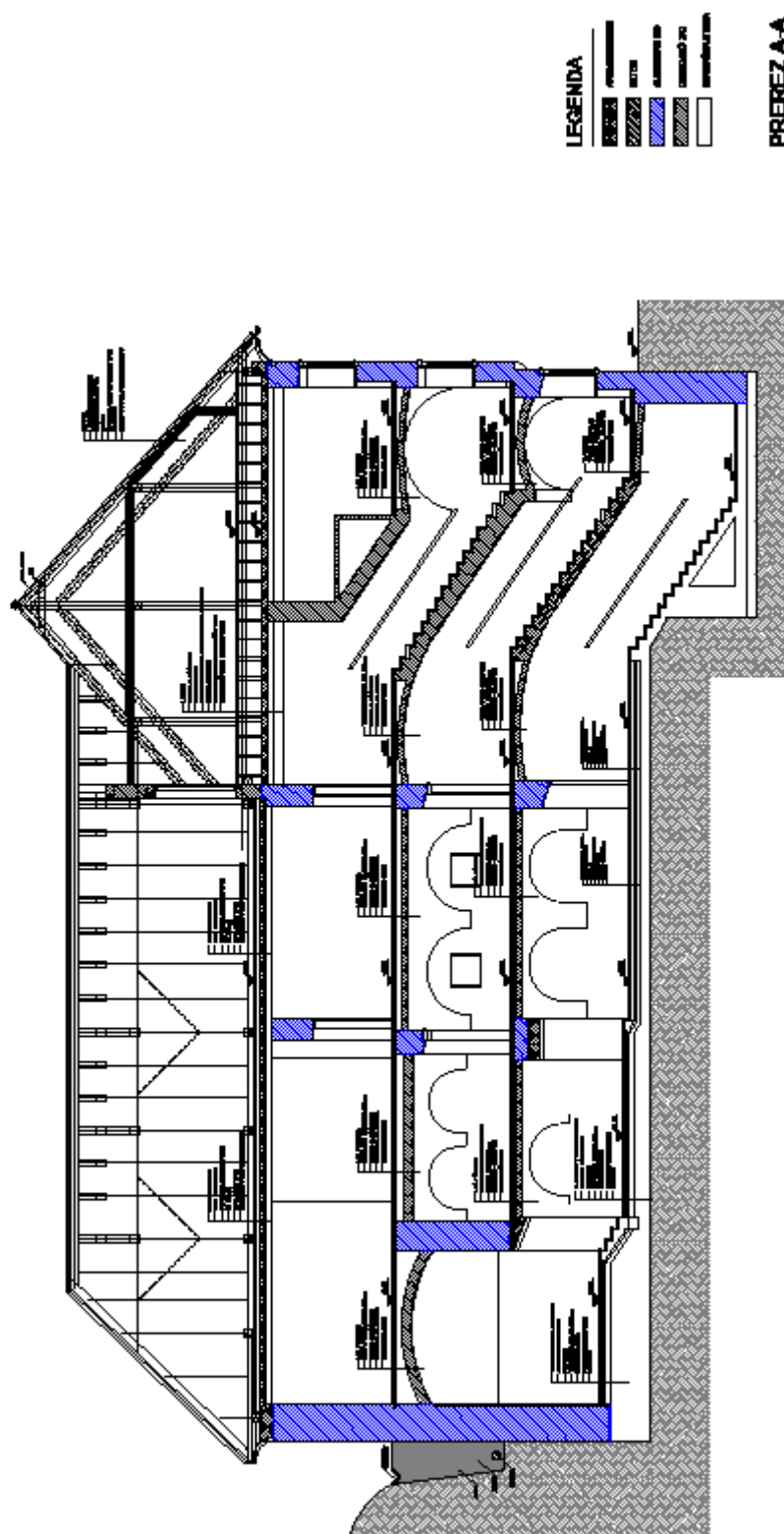
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
10	10
11	11
12	12
13	13
14	14
15	15
16	16
17	17
18	18
19	19
20	20
21	21
22	22
23	23
24	24
25	25
26	26
27	27
28	28
29	29
30	30
31	31
32	32
33	33
34	34
35	35
36	36
37	37
38	38
39	39
40	40
41	41
42	42
43	43
44	44
45	45
46	46
47	47
48	48
49	49
50	50
51	51
52	52
53	53
54	54
55	55
56	56
57	57
58	58
59	59
60	60
61	61
62	62
63	63
64	64
65	65
66	66
67	67
68	68
69	69
70	70
71	71
72	72
73	73
74	74
75	75
76	76
77	77
78	78
79	79
80	80
81	81
82	82
83	83
84	84
85	85
86	86
87	87
88	88
89	89
90	90
91	91
92	92
93	93
94	94
95	95
96	96
97	97
98	98
99	99
100	100

LEGENDA

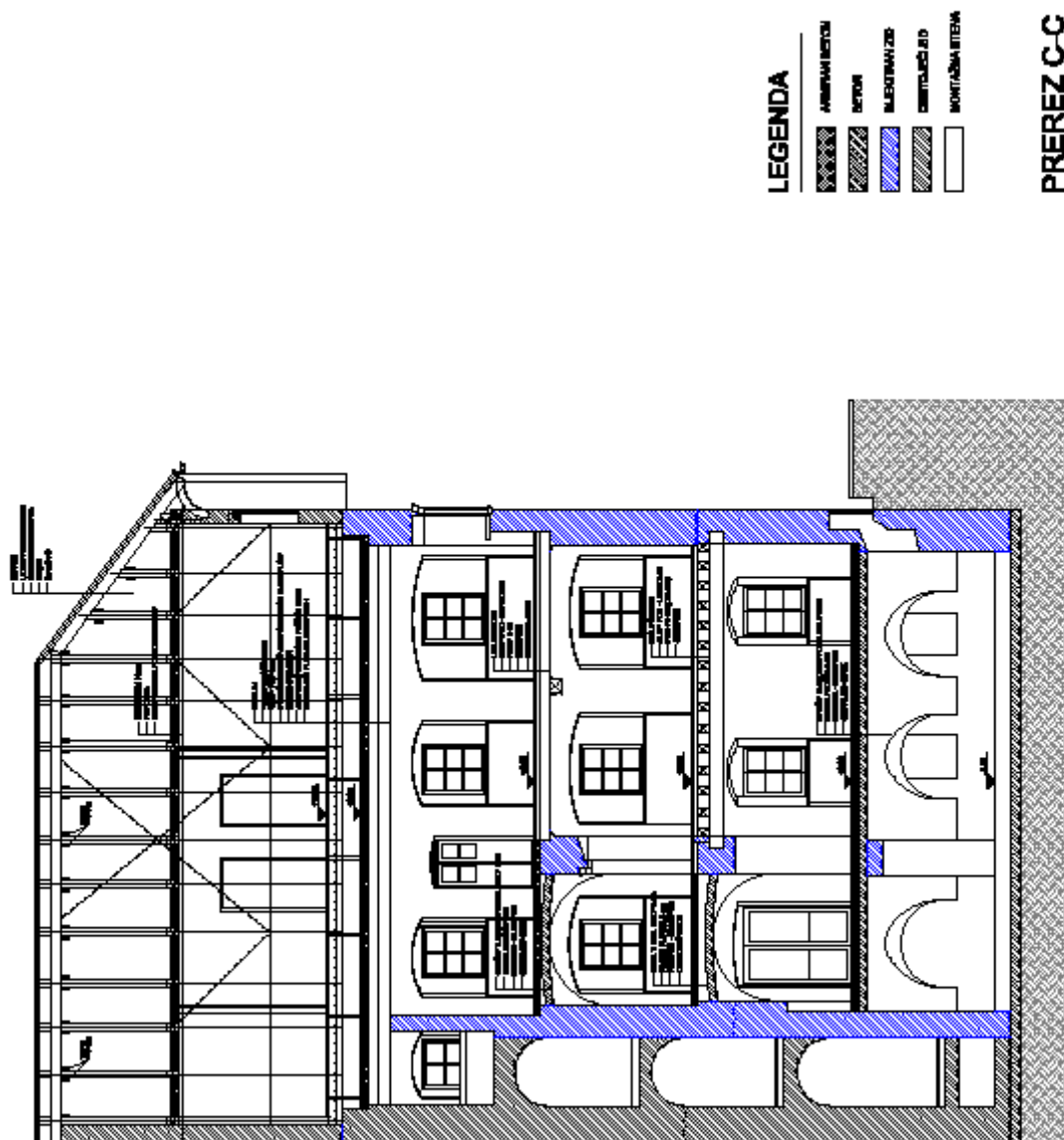
[Symbol]	ANALIZIRANI ZIDovi
[Symbol]	STREPI
[Symbol]	INJEKTIRANO
[Symbol]	OPERATIVNO IZB
[Symbol]	NEKONSTRUKTIVNA

**TLOORIS
 PODSTREŠJA**

Priloga 5: Vzdolžni prerez A-A



Priloga 6: Prečni prerez C-C



Priloga 7: Prečni prerez E-E

